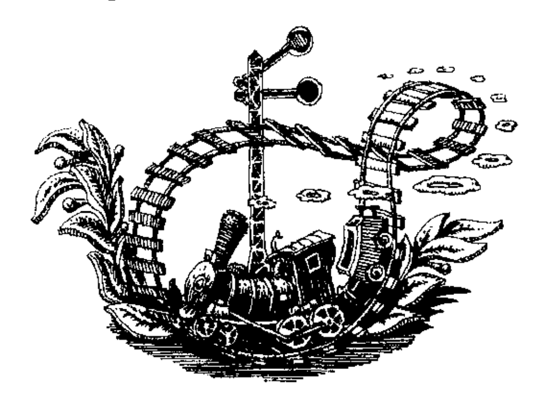
Большая библиотека «Дрофы»

Физика

3800 задач для школьников и поступающих в вузы





Москва
Издательский дом
«Дрофа»
2000

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я721
Ф48

Серия основана в 1998 году

Авторы-составители:
**Н. В. Турчина, Л. И. Рудакова, О. И. Суров,
Г. Г. Спирин, Т. А. Ющенко**



Физика: 3800 задач для школьников и поступающих в вузы / Авт.-сост.
Ф48 Н. В. Турчина, Л. И. Рудакова, О. И. Суров и др. — М.: Дрофа, 2000. — 672 с.: ил. — (Большая библиотека «Дрофы»).

ISBN 5—7107—2775—X

Пособие содержит задачи разной степени сложности по всем разделам школьного курса физики.

Сборник будет полезен учащимся, желающим приобрести навык решения задач, поступающим в вузы.

Книга будет интересна учителям школ, гимназий и лицеев, так как содержит большое количество оригинальных задач.

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я721

ISBN 5—7107—2775—X

© «Дрофа», 1999

Предисловие

Настоящий сборник содержит задачи по всем разделам элементарного курса физики.

В сборник включены задачи разной степени сложности, что позволяет использовать пособие как в общеобразовательных школах, так и в гимназиях, лицеях и колледжах.

Все задачи объединены в пять разделов: «Механика», «Молекулярная физика и термодинамика», «Электромагнетизм», «Оптика» и «Атомная и ядерная физика». Внутри разделов задачи располагаются по темам. *В конце каждой темы имеется сводная таблица, в которой приведены* физические величины, единицы их измерения, основные формулы и законы, необходимые при решении задач по данной теме.

Расположение задач в каждой теме определяется принципом «от простого к сложному», с постепенным введением новых понятий, усложнением приемов и алгоритмов решения.

Для задач, помеченных кружочком (10.62°), требуется не только уверенное знание школьного курса физики и математики, но и смекалка. Звездочкой (2.99*) отмечены задачи, выходящие за рамки школьной программы.

Бóльшая часть задач снабжена *ответами, представленными в аналитическом виде*, что обеспечит более качественный самоконтроль и облегчит поиск ошибок.

В конце книги приведены таблицы данных, необходимых для решения задач, основные физические постоянные и периодическая таблица химических элементов Д. И. Менделеева.

Задачи, составляющие сборник, являются в основном коллективным трудом преподавателей различных вузов и школ. Авторы привели в систему этот значительный по объему и содержанию материал, дополнив его оригинальными задачами.

Авторы выражают глубокую благодарность доценту **МФТИ В. Е. Белонучкину**, немало способствовавшему улучшению книги.

Механика

1. Кинематика

Длина, время, скорость

1.1. Средний радиус Земли равен приблизительно 6400 км. Выразить это расстояние в метрах.

1.2. Космический корабль «Восток-5» с Валерием Быковским на борту 81 раз облетел вокруг Земли ($R_З \approx 6400$ км). Найти расстояние, пройденное кораблем, считая орбиту круговой и отстоящей от поверхности Земли на расстояние $h = 200$ км.

1.3. Во сколько раз радиус Земли ($R_З \approx 6400$ км) больше расстояния между Москвой и Петербургом, которое равно 640 км?

1.4. Мальчик решил изготовить глобус, диаметр которого в миллиард раз меньше диаметра Земли. Поместится ли такой глобус в классной комнате? Ответ обосновать.

1.5. Какую долю земного радиуса составляет высота самой высокой горы на Земле — Эвереста. Высота Эвереста около 8800 м.

1.6. Достаточно ли одной катушки, чтобы получить кусок нити в миллионную долю длины железнодорожного пути между Москвой и Петербургом? Длина швейной нити в катушке равна 200 м, расстояние от Москвы до Петербурга — 640 км.

1.7. Как определить при помощи масштабной линейки диаметр одинаковых швейных иголок?

1.8. На поверхности воды разлили нефть объемом $V = 1$ м^3. Какую площадь займет нефтяное пятно, если толщина слоя $d = 2{,}5 \cdot 10^{-5}$ мм?

1.9. Куб, объем которого равен 1 м^3, разделили на кубики объемом 1 мм^3 каждый. Какой длины ряд получится из этих кубиков, плотно уложенных друг к другу?

1.10. Девочки сделали снеговика, а мальчики соорудили точную его копию, но в два раза большей высоты. Во сколько раз объем копии больше объема оригинала?

1.11. Средняя продолжительность жизни человека в нашей стране равна 60 годам. Выразить это время в секундах.

1.12. Во сколько раз период обращения Земли вокруг Солнца больше периода обращения Земли вокруг собственной оси?

1.13. Куб, объем которого равен 1 м^3, разделили на кубики объемом 1 мм^3 каждый. Сколько времени потребовалось бы для того, чтобы уложить их в ряд, если на укладку одного кубика уходит 1 с?

1.14. Какую скорость (в километрах в час) должен развивать реактивный самолет, чтобы она была равна скорости звука в воздухе $v = 340$ м/с?

1.15. Скорость истребителя МИГ-21 равна 611,1 м/с. Мировой рекорд скорости при спуске на лыжах — 217,7 км/ч. Во сколько раз скорость истребителя больше скорости лыжника?

1.16. Средняя скорость движения Земли вокруг Солнца $v = 30$ км/с. Какой путь при этом движении проходит Земля за сутки?

1.17. За какое время плывущий по реке плот пройдет расстояние $s = 150$ м, если скорость ее течения $v = 0{,}5$ м/с?

1.18. Пассажирский самолет ТУ-104 пролетает над городом за $t = 2$ мин. Протяженность города в направлении полета самолета равна 30 км. Определить скорость движения самолета и выразить ее в метрах в секунду и километрах в час.

1.19. Экспедиция Магеллана совершила кругосветное плавание за $t_1 = 3$ года, а Юрий Гагарин облетел земной шар за $t_2 = 89$ мин. Путь, пройденный Магелланом, можно считать приблизительно вдвое большим. Во сколько раз η средняя скорость полета Гагарина превышает среднюю скорость плавания Магеллана?

1.20. Молодой бамбук за сутки может вырасти на 86,4 см. На сколько он может вырасти за 1 с?

1.21. Допустим, что толщина льда в пруду увеличивается в среднем на 5 мм в сутки. Какой станет толщина льда за неделю, если его первоначальная толщина 2 см?

1.22. С какой скоростью должна двигаться нефть в трубопроводе сечением 100 см^2, чтобы в течение часа протекало 18 м^3 нефти?

1.23. По бикфордову шнуру (специальный шнур, сгорающий с небольшой скоростью) пламя распространяется с постоянной скоростью $v = 0{,}8$ см/с. Какой длины шнур необходимо взять, чтобы поджигающий его человек мог отбежать на безопасное расстояние $s = 120$ м, пока пламя не дойдет до взрывчатого вещества? Скорость человека $v_1 = 4$ м/с.

1.24. На дорогу от Москвы до Кубинки (l = 63 км) пассажир электрички тратит t = 1 ч 10 мин. Средняя скорость движения электрички v = 70 км/ч. Какое время занимают остановки?

1.25. Автобус, двигавшийся со скоростью v = 50 км/ч, простоял перед закрытым железнодорожным переездом t = 1,5 мин. С какой скоростью он должен продолжить движение, чтобы не выбиться из расписания, если расстояние от переезда до ближайшей остановки маршрута l = 3,75 км?

1.26. Поезд прошел путь l = 200 км. В течение времени t_1 = 1 ч он двигался со скоростью v_1 = 100 км/ч, затем сделал остановку на время t_2 = 30 мин. Оставшуюся часть пути он шел со скоростью v_3 = 40 км/ч. Какова средняя скорость движения поезда?

1.27. Определить среднюю скорость поезда, если первую половину пути он шел со скоростью v_1 = 50 км/ч, а вторую половину пути — со скоростью v_2 = 100 км/ч.

1.28. Два автомобиля одновременно выехали из Москвы в Петербург. Один автомобиль первую половину пути ехал со скоростью v_1 = 120 км/ч, а вторую — со скоростью v_2 = 80 км/ч. Другой автомобиль первую половину времени ехал со скоростью v_1 = 120 км/ч, а вторую — со скоростью v_2 = 80 км/ч. Какой автомобиль приедет в Петербург раньше?

1.29. Автомобиль доставил груз из пункта A в пункт B, перемещаясь в среднем со скоростью v_1 = 40 км/ч. Возвращаясь обратно, автомобиль двигался со средней скоростью v_2 = 60 км/ч. Чему равна средняя скорость его движения на всем пути?

1.30. Найти среднюю скорость самолета, если известно, что первую треть пути он летел со скоростью v_1 = 700 км/ч, вторую треть — со скоростью v_2 = 500 км/ч, а последнюю часть пути — со скоростью, вдвое большей средней скорости на первых двух участках пути.

1.31. Найти среднюю скорость поезда, если известно, что на прохождение отдельных участков дистанции, длины которых относятся как 1 : 3 : 4 : 2, потребовались промежутки времени, находящиеся в отношении 2 : 4 : 3 : 1, и на последнем участке скорость поезда v = 80 км/ч. Считать, что на каждом из участков поезд двигался равномерно.

1.32. На дорогу от Кубинки до Москвы водитель обычно тратит t = 40 мин. Однако в часы пик, чтобы ехать с привычной скоростью, ему

приходится выбирать другой маршрут. Этот путь на $\eta = 20\%$ длиннее и $\Delta t = 12$ мин занимают остановки. Все равно он экономит $\tau = 15$ мин. Во сколько раз его скорость в часы пик меньше его обычной скорости?

Материальная точка. Система отсчета. Путь. Перемещение

1.33. Можно ли принять Землю за материальную точку при расчете:

а) расстояния от Земли до Солнца; б) пути, пройденного Землей по орбите вокруг Солнца за месяц; в) длины экватора Земли; г) скорости движения точки экватора при суточном вращении Земли вокруг оси; д) скорости движения Земли по орбите вокруг Солнца; е) движения спутника вокруг Земли; ж) посадки самолета?

1.34. Можно ли принять за материальную точку снаряд при расчете:

а) дальности полета снаряда; б) формы снаряда, обеспечивающей уменьшение сопротивления воздуха?

1.35. Можно ли принять за материальную точку железнодорожный состав длиной около 1 км при расчете пути, пройденного за: а) несколько секунд; б) несколько часов?

1.36. Поезд прибыл из Владивостока в Москву. Равные ли пути прошли при этом локомотив и хвостовой вагон? Можно ли в этой задаче рассматривать поезд как материальную точку?

1.37. Поезд длиной $l = 120$ м движется по мосту со скоростью $v = 18$ км/ч. За какое время поезд проедет мост, если длина моста $s = 480$ м? Можно ли поезд в этой задаче рассматривать как материальную точку?

1.38. Путь или перемещение мы оплачиваем в такси? в самолете?

1.39. Мяч с высоты 1 м над поверхностью земли был подброшен вертикально вверх еще на 2 м и упал на землю. Найти путь и перемещение мяча.

1.40. Самолет пролетел на север 400 км, затем повернул на восток и пролетел еще 300 км. Найти путь и перемещение самолета за все время полета. Нарисовать траекторию движения самолета, считая, что его движение происходило в одной плоскости.

1.41. На рисунке 1.1 показано положение точек A, B, C, D в системе координат XOY. Найти координаты всех точек и расстояние между точками A и B, A и C, A и D, D и C.

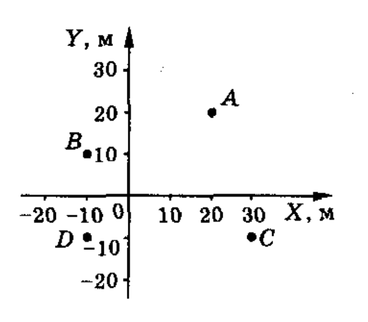


Рис. 1.1

Рис. 1.2

1.42. Определить координаты точек *A*, *B*, *C* в системах отсчета *XOY* и *X'O'Y'* (рис. 1.2). Зависят ли координаты точки от выбора системы отсчета? Определить расстояние между точками *A* и *B* в обеих системах отсчета.

1.43. На рисунке 1.3 показаны перемещения четырех точек: $\Delta\vec{s}_1$, $\Delta\vec{s}_2$, $\Delta\vec{s}_3$ и $\Delta\vec{s}_4$. Найти: а) начальное и конечное положение каждой точки; б) проекцию перемещения каждой точки на координатные оси; в) модуль перемещения каждой точки.

1.44. В момент времени $t_1 = 1$ с тело находилось в точке пространства с координатами $x_1 = -2$ м; $y_1 = 2$ м. К моменту времени $t_2 = 3$ с тело переместилось в точку с координатами $x_2 = 3$ м, $y_2 = -3$ м. Найти время движения тела. Чему равна проекция перемещения на ось *X*? на ось *Y*? Чему равен модуль перемещения тела?

1.45. На рисунке 1.4 показана траектория движения материальной точки. Ее начальное положение — *A*, конечное — *C*. Найти проекции перемещения точки на оси *X* и *Y*, модуль перемещения и путь, пройденный точкой.

1.46. Две точки *A* и *B* движутся по траекториям, показанным на рисунке 1.5. Найти координаты пересечения траекторий. При каком условии возможна встреча точек *A* и *B*?

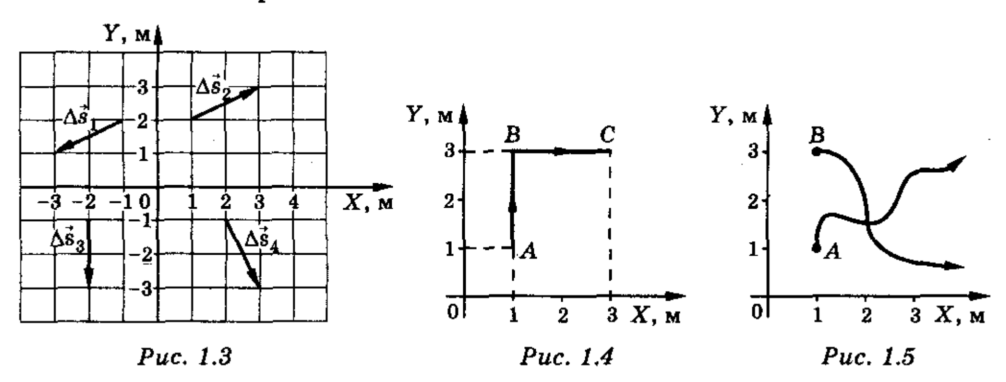


Рис. 1.3 Рис. 1.4 Рис. 1.5

Прямолинейное равномерное движение

1.47. Материальная точка движется так, что координата изменяется со временем по закону: $x = 5t$[1]. Чему равна скорость материальной точки? Какой путь пройдет точка за 2 с движения? Построить графики зависимости: а) скорости от времени; б) пути от времени.

1.48. Закон движения материальной точки имеет вид: $x = 10t$. Описать характер движения: найти начальную координату точки (начало отсчета времени $t_0 = 0$); координату точки в момент времени $t_1 = 10$ с. Найти модуль и направление скорости. Нарисовать траекторию движения точки. Построить графики зависимости $v_x(t)$ и $x(t)$. Определить графически момент времени, когда точка будет иметь координату $x_2 = 80$ м.

1.49. Материальная точка движется равномерно вдоль оси X так, что в начальный момент времени ($t_0 = 0$) ее координата $x_0 = 10$ м, а через $\Delta t = 2$ мин ее координата $x_1 = 250$ м. С какой скоростью движется точка? Записать закон движения точки $x(t)$.

1.50. Материальная точка движется равномерно вдоль оси X так, что в момент времени $t_1 = 1$ с ее координата $x_1 = 5$ м, а к моменту времени $t_2 = 5$ с ее координата $x_2 = -3$ м. Найти скорость движения точки. Записать закон движения точки $x(t)$. Найти перемещение и путь, пройденный точкой, за любые $\Delta t = 2$ с движения.

1.51. Закон движения точки имеет вид: $x(t) = 2t - 1$. Определить: а) координату точки x_0 в момент времени $t_1 = 0$; б) координату точки x_1 в момент времени $t_1 = 1$ с; в) путь, пройденный точкой за время $t_1 = 1$ с. Построить: траекторию движения точки; графики зависимости от времени координаты, пути и скорости точки.

1.52. По оси X движутся две точки: первая по закону $x_1 = 10 + 2t$, вторая по закону $x_2 = 4 + 5t$. В какой момент времени они встретятся? Решить задачу аналитически и графически.

1.53. Из пункта A в пункт B выехала автомашина с постоянной скоростью $v_1 = 80$ км/ч. Спустя $\Delta t = 15$ мин из пункта B в пункт A выехал велосипедист с постоянной скоростью $v_2 = 20$ км/ч.

---

[1] В подобных записях, если нет других указаний, числовым и буквенным коэффициентам следует приписывать такие размерности, чтобы при подстановке времени в секундах значение координаты получалось в метрах (СИ).

а) Написать закон движения автомашины и велосипедиста, считая, что начало координат находится в пункте A, а начало отсчета времени — выезд автомашины.

б) Найти время и место встречи аналитически и графически. Расстояние между пунктами A и B $l = 55$ км.

1.54. Из пунктов A и B, расстояние между которыми равно l, одновременно навстречу друг другу начали двигаться два тела: первое со скоростью v_1, второе со скоростью v_2. Определить время и место их встречи. Решить задачу аналитически и графически.

1.55. Координата тела, движущегося вдоль оси X, изменяется со временем по закону, представленному на рисунке 1.6. Построить график зависимости скорости и пути тела от времени. Чему равны перемещение и путь за первые $t_1 = 3$ с движения тела? Найти проекцию средней скорости v_x и среднюю путевую скорость[1] v за первые $t_2 = 5$ с движения.

1.56. Координата частицы, движущейся вдоль оси X, изменяется со временем так, как показано на рисунке 1.7. а) Какое это движение? б) Записать закон движения частицы. в) Построить график зависимости скорости от времени $v(t)$. г) Нарисовать траекторию движения частицы. д) Построить график зависимости пути от времени $l(t)$. е) Чему равны перемещение и путь частицы за интервал времени от $t_1 = 2$ с до $t_2 = 5$ с?

1.57. Материальная точка движется вдоль оси X так, что проекция ее скорости изменяется со временем так, как показано на рисунке 1.8. В начальный момент времени $t_0 = 0$ координата точки $x_0 = -1$ м. а) Записать закон движения точки. б) Построить график зависимости координаты и пути от времени. в) Чему равны перемещение s и путь l точки за первые $t_1 = 2$ с движения? г) Чему равны проекция средней скорости и средняя путевая скорость точки за все время движения?

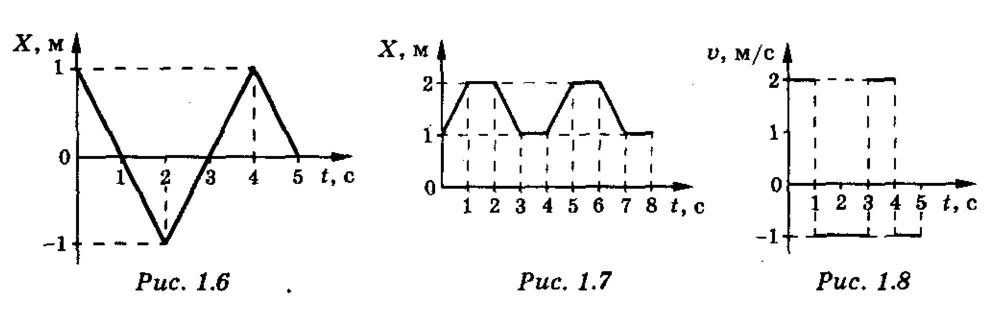


Рис. 1.6 Рис. 1.7 Рис. 1.8

[1] Средняя путевая скорость $v = \dfrac{\Delta l}{\Delta t}$.

Относительность движения

1.58. Мимо железнодорожной платформы проезжает пассажирский поезд, в одном из вагонов которого у окна сидит девочка. В покое или движении относительно девочки находятся: а) книга, лежащая на ее столе; б) пол вагона; в) железнодорожная платформа; г) мальчик, стоящий на платформе?

1.59. Нарисовать траекторию движения точки обода колеса велосипеда при его движении относительно: а) рамы велосипеда; б) земли. Зависит ли вид траектории от выбора тела отсчета? Зависят ли путь и перемещение от выбора системы отсчета?

1.60. Скорость велосипедиста равна 10 м/с, а скорость встречного ветра — 4 м/с. Какова скорость ветра относительно велосипедиста? Какой была бы скорость ветра относительно него, если бы ветер был попутный?

1.61. Ящик скользит по наклонному помосту, расположенному под углом $\alpha = 30°$ к горизонту, с постоянной скоростью $v = 1{,}0$ м/с. Найти вертикальную и горизонтальную составляющие скорости.

1.62. Самолет поднимается с аэродрома под углом $\alpha = 20°$ к горизонту со скоростью $v = 216$ км/ч. Найти вертикальную и горизонтальную составляющие скорости. Какой высоты h достигнет самолет за $t = 1$ с подъема?

1.63. Шар-пилот поднялся на высоту $h = 800$ м и при этом был отнесен ветром в горизонтальном направлении на расстояние $s = 600$ м. Найти путь, пройденный шаром, считая движение равномерным и прямолинейным.

1.64. По двум параллельным путям равномерно движутся два поезда: товарный, длина которого $l_1 = 630$ м и скорость $v_1 = 48$ км/ч, и пассажирский длиной $l_2 = 120$ м со скоростью $v_2 = 102$ км/ч. Какова относительная скорость движения поездов, если они движутся: а) в одном направлении; б) в противоположных направлениях? В течение какого времени один поезд проходит мимо другого?

1.65. Расстояние от пункта A до пункта B катер проходит за время $t_1 = 3$ ч, обратный путь занимает у катера время $t_2 = 6$ ч. Какое время потребуется катеру, чтобы пройти расстояние от A до B при выключенном моторе? Скорость катера относительно воды постоянна.

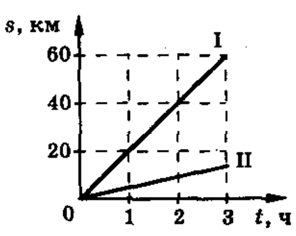


Рис. 1.9

1.66. На рисунке 1.9 изображены: I — график движения катера в стоячей воде, II — график

движения воды в реке. Построить график движения катера в случае, когда он движется: а) по течению реки; б) против течения реки. По графикам найти: скорость катера в стоячей воде, скорость течения реки, скорость катера вниз по реке и скорость катера вверх по реке.

1.67. Водитель легкового автомобиля начинает обгон трейлера при скорости υ_1 = 90 км/ч в тот момент времени, когда расстояние между машинами s_1 = 20 м, и переходит (перестраивается) в прежний ряд, когда расстояние между машинами стало s_2 = 15 м. Определить время, за которое водитель автомобиля обогнал трейлер, движущийся со скоростью υ_2 = 72 км/ч. Длина легкового автомобиля l_1 = 4 м, трейлера — l_2 = 16 м.

1.68. Пассажир поднимается по неподвижному эскалатору метрополитена за время t_1 = 3 мин, а по движущемуся вверх эскалатору за время t_2 = 2 мин. Сможет ли он подняться по эскалатору, движущемуся с той же скоростью вниз? Если сможет, то за какое время?

1.69. Эскалатор метро спускает идущего по нему человека за время t_1 = 1 мин. Если человек будет двигаться относительно эскалатора вдвое быстрее, то он спустится за t_2 = 45 с. Сколько времени будет спускаться человек, стоящий на эскалаторе?

1.70. Человек бежит по движущемуся эскалатору. В первый раз он насчитал n_1 = 50 ступенек, второй раз, двигаясь в ту же сторону со скоростью относительно эскалатора втрое большей, он насчитал n_2 = 75 ступенек. Сколько ступенек он насчитал бы на неподвижном эскалаторе?

1.71. Два поезда идут навстречу друг другу со скоростями υ_1 = = 36 км/ч и υ_2 = 54 км/ч. Пассажир в первом поезде замечает, что второй поезд проходит мимо него за t = 6 с. Какова длина второго поезда?

1.72. Два человека одновременно вступают на эскалатор с противоположных сторон и движутся навстречу друг другу с одинаковыми скоростями относительно эскалатора υ = 2 м/с. На каком расстоянии от входа на эскалатор они встретятся? Длина эскалатора l = 100 м, его скорость u = 1,5 м/с.

1.73. Теплоход длиной l = 300 м движется прямолинейно по озеру со скоростью υ_1. Катер, имеющий скорость υ_2 = 90 км/ч, проходит расстояние от кормы до носа движущегося теплохода и обратно за время t = 37,5 с. Найти скорость теплохода.

1.74. Пролетая над пунктом *А*, пилот вертолета догнал воздушный шар, который сносило ветром по курсу вертолета. Через полчаса пилот повернул обратно и встретил воздушный шар в 30 км от пункта *А*. Чему равна скорость ветра, если мощность двигателя вертолета оставалась постоянной?

1.75. Петров и Иванов бегают по гаревой дорожке стадиона длиной $l = 400$ м. Петров пробегает круг за $t_1 = 50$ с, а Иванов за $t_2 = 60$ с. Сколько раз они встретятся при забеге на дистанцию $l_0 = 4$ км, если они стартуют *одновременно и бегут в одну сторону*?

1.76. Ведро выставлено под вертикальный дождь. Как изменится скорость наполнения ведра водой, если подует ветер? Ответ обосновать.

1.77. Танк движется со скоростью $v = 72$ км/ч. С какими скоростями относительно земли движутся: нижняя часть гусеницы — $v_н$; верхняя часть гусеницы — $v_в$; часть гусеницы, которая в данный момент вертикальна по отношению к земле — v_1?

1.78. Капли дождя на окнах неподвижного трамвая оставляют полосы, наклоненные под углом α к вертикали. При движении трамвая со скоростью v полосы от дождя вертикальны. Оценить скорость капель дождя в безветренную погоду.

1.79. Самолет в безветренную погоду взлетает со скоростью $v = 40$ м/с под углом к горизонту $\alpha = 10°$. Внезапно начинает дуть горизонтальный встречный ветер, скорость которого $u = 10$ м/с. Какой стала скорость самолета относительно земли и какой угол составляет она с горизонтом?

1.80. Корабль движется на запад со скоростью v. Известно, что ветер дует точно с юго-запада. Скорость ветра, измеренная на палубе корабля, равна u_0. Найти скорость ветра относительно земли.

1.81. Поезд движется на север со скоростью $v = 20$ м/с. Пассажиру вертолета, пролетающего над поездом, кажется, что поезд движется на запад со скоростью $u = 20$ м/с. Найти скорость вертолета и направление его полета.

1.82. Пловец хочет переплыть реку шириной h. Под каким углом α *к направлению течения он должен плыть, чтобы переправиться за наименьшее время*? Какой путь l он проплывет? Скорость течения реки u, скорость пловца относительно неподвижной воды v. За какое время он проплывет реку по наикратчайшему пути?

1.83. Катер движется из пункта A в пункт B все время вдоль прямой AB (рис. 1.10). Скорость течения реки $u = 2$ м/с, скорость катера относительно неподвижной воды $v = 9$ м/с. Расстояние $AB = l = 1200$ м. За какое время катер пройдет это расстояние, если линия AB составляет с направлением течения угол $\alpha = 120°$?

1.84. Два лодочника должны переплыть реку из пункта A в пункт B. Один из них направляет лодку по прямой AB и, достигнув противоположного берега, оказывается в точке C (рис. 1.11). Для того чтобы попасть в пункт B, он *движется против течения* от пункта C к пункту B.

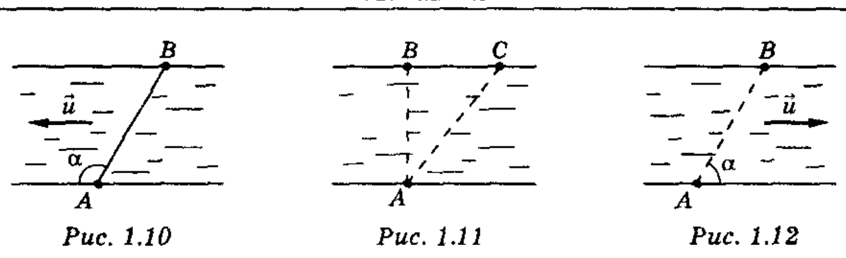


Рис. 1.10 Рис. 1.11 Рис. 1.12

Второй лодочник направляет лодку так, что сразу, достигнув противоположного берега, оказывается в пункте B. Кто из них попадет в пункт B быстрее и во сколько раз? Скорость лодки относительно воды в обоих случаях одинакова и равна $v = 5{,}2$ м/с, скорость течения воды $u = 1{,}2$ м/с.

1.85. Два катера вышли одновременно из пунктов A и B, находящихся на противоположных берегах реки (рис. 1.12), и двигались по прямой AB, длина которой $l = 1$ км. Прямая AB образует угол $\alpha = 60°$ с направлением скорости течения, которая равна $v = 2$ м/с. Скорости движения катеров относительно воды одинаковы. На каком расстоянии от пункта B произошла встреча катеров, если они встретились через $t = 3$ мин после отхода от причалов?

1.86. С какой скоростью и по какому курсу должен лететь самолет, чтобы за время $t = 2$ ч пролететь точно на север расстояние $l = 200$ км, если во время полета дует северо-западный ветер под углом $\alpha = 30°$ к меридиану со скоростью $u = 27$ км/ч?

1.87*. Самолет совершает прямой и обратный рейсы между двумя населенными пунктами. При каком направлении ветра относительно трассы время полета будет максимальным? минимальным? Ответ обосновать.

1.88. Турист, сплавлявшийся по реке на байдарке, заметил, что поток несет его к середине упавшего и перегородившего ему путь дерева в тот момент, когда расстояние от носа байдарки до дерева было $s = 30$ м. Оценить, под каким углом к скорости течения он должен направить байдарку, чтобы обойти преграду, если скорость реки $u = 3$ км/ч, скорость байдарки в стоячей воде $v = 6$ км/ч, длина дерева $l = 20$ м.

1.89. В установке, изображенной на рисунке 1.13, нить тянут с постоянной скоростью v. Будет ли двигаться брусок с постоянной скоростью? Какой будет скорость бруска в тот момент, когда нить составляет с горизонтом угол α?

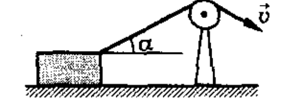


Рис. 1.13

1.90°. Тяжелый ящик перемещают с помощью двух тракторов, движущихся со скоростями $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$, образующими угол α (рис. 1.14). Как направлена и чему равна скорость ящика в тот момент, когда канаты натянуты и параллельны векторам $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$?

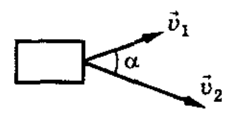


Рис. 1.14

Прямолинейное равнопеременное движение

1.91. Поезд, трогаясь с места, через $t_1 = 10$ с приобретает скорость $v_1 = 0{,}6$ м/с. За какое время от начала движения скорость поезда станет равной $v_2 = 3$ м/с? Движение поезда считать равноускоренным.

1.92. Ускорение тела $a = 1$ м/с^2 и направлено противоположно его скорости. На какую величину изменится скорость тела за $t = 2$ с движения?

1.93. Тело, движущееся со скоростью $v_1 = 54$ км/ч, за $t = 2$ с уменьшило свою скорость до $v_2 = 7$ м/с. Определить ускорение тела.

1.94. Первоначально покоившееся тело начинает двигаться с постоянным ускорением $a = 5 \cdot 10^{-4}$ м/с^2. Определить путь, пройденный телом за $t = 0{,}1$ ч после начала движения.

1.95. Подъезжая к светофору со скоростью $v = 10$ м/с автомобиль тормозит в течение времени $t = 4$ с и останавливается рядом со светофором. На каком расстоянии от светофора находился автомобиль в начале торможения?

1.96. Автомобиль с хорошими шинами может иметь ускорение $a = 5$ м/с^2. Какое время потребуется для разгона автомобиля до скорости $v = 60$ км/ч? Каков путь разгона в этом случае?

1.97. Четырехступенчатая ракета-носитель, выводившая спутник «Эксплорер» на орбиту, за время $t = 7$ мин довела его скорость до $v = 8$ км/с. Определить среднее ускорение ракеты, считая, что благодаря вращению Земли спутник еще на старте имел полезную начальную скорость $v_0 = 0{,}3$ км/с.

1.98. Межпланетная автоматическая станция «Марс-1» начала свой полет со скоростью $v_0 = 12$ км/с. Благодаря притяжению Земли в конце первого миллиона километров ($s = 10^6$ км) ее скорость уменьшилась до $v = 3$ км/с. Считая движение равнозамедленным, найти ускорение полета.

1.99. Самолет пробегает по бетонированной дорожке расстояние $s = 790$ м. При отрыве от земли его скорость $v = 240$ км/ч. Какое время продолжался разбег и с каким ускорением двигался самолет?

1.100. Тело, двигаясь прямолинейно с ускорением $a = 2$ м/с^2, за время $t = 0{,}1$ мин прошло путь $s = 42$ м. Какой была начальная скорость тела v_0?

1.101. Тело, первоначально движущееся прямолинейно со скоростью $v_0 = 4$ м/с, начинает двигаться с ускорением в том же направлении и за время $t = 5$ с проходит путь $s = 70$ м. Найти ускорение тела.

1.102. Пуля, летящая со скоростью $v_0 = 400$ м/с, ударяет в земляной вал и проникает в него на глубину $s = 36$ см. Определить: а) какое время t она движется внутри вала; б) ускорение a; в) скорость v_1 на глубине $s_1 = 18$ см; г) на какой глубине s_2 скорость пули уменьшится в $n = 3$ раза; д) скорость пули v_2 к моменту, когда она пройдет $\eta = 99\%$ своего пути. Движение пули считать равнозамедленным.

1.103. Камень, брошенный по льду со скоростью $v_0 = 5$ м/с, останавливается на расстоянии $s = 25$ м от места бросания. Определить путь, пройденный камнем за первые $t_1 = 2$ с движения.

1.104. Автомобиль без начальной скорости начинает двигаться равноускоренно с ускорением a. Через время t от начала движения скорость автомобиля перестает изменяться. Определить путь автомобиля, пройденный им за время $2t$.

1.105. Известно, что материальная точка за время $t = 10$ с прошла путь $l = 60$ м, причем ее скорость увеличилась в $n = 5$ раз. Определить ускорение, считая его постоянным.

1.106. Автомобиль движется с постоянным ускорением $a = 1$ м/с^2. Мимо наблюдателя он проезжает со скоростью $v = 10{,}5$ м/с. На каком расстоянии от наблюдателя он находился секунду назад?

1.107. Троллейбус отошел от остановки с ускорением $a = 0{,}2$ м/с^2. Достигнув скорости $v = 36$ км/ч, двигался, не меняя ее, в течение времени $t = 2$ мин. Затем, равномерно замедляя движение, прошел до остановки путь $l = 100$ м. Найти среднюю скорость движения на всем пути между остановками. Построить график зависимости скорости этого движения от времени.

1.108. Спортсмен пробежал расстояние $s = 100$ м за $t = 10$ с, из которых он $t_1 = 2$ с потратил на разгон, а остальное время двигался равномерно. Чему равна его скорость v равномерного движения? средняя скорость $v_{ср}$?

1.109. Тело, движущееся равноускоренно с начальной скоростью $v_0 = 1$ м/с, пройдя некоторое расстояние, приобретает скорость $v = 7$ м/с. Какова была скорость тела в тот момент времени, когда оно прошло половину расстояния?

1.110. Водитель автомобиля, движущегося со скоростью $v = 72$ км/ч, подъезжая к закрытому железнодорожному переезду, начал тормозить на расстоянии $l = 50$ м от него. У переезда машина стояла $t = 50$ с. После того как шлагбаум открыли, водитель набрал прежнюю скорость на том же отрезке пути. На сколько ближе к месту назначения оказался бы водитель автомобиля, если бы он ехал с прежней скоростью без остановки? Движение при разгоне и торможении считать равнопеременным.

1.111. Лифт в течение первых $t_1 = 3$ с поднимается равноускоренно и достигает скорости $v = 3$ м/с, с которой продолжает равномерный подъем в течение $t_2 = 6$ с. Затем движется с прежним по модулю ускорением до полной остановки. Построить график зависимости скорости подъема лифта от времени и определить высоту подъема.

1.112. Тело начинает равноускоренное движение. Известно, что за девятую секунду оно проходит расстояние $l = 17$ м. Определить: а) ускорение, с которым движется тело; б) скорость тела в конце девятой секунды движения; в) скорость тела в тот момент, когда оно пройдет путь $s_x = 25$ м, считая от начала движения. Начальная скорость тела $v_0 = 0$.

1.113. Тело из состояния покоя начинает двигаться с постоянным ускорением. Найти отношение расстояний, проходимых за последовательные равные промежутки времени.

1.114. За какую секунду от начала движения путь, пройденный телом при равноускоренном движении, втрое больше пути, пройденного в предыдущую секунду, если движение происходит без начальной скорости?

1.115. Тело начинает двигаться из состояния покоя равноускоренно и за десятую секунду проходит путь $s_{10} = 38$ м. Найти путь, пройденный телом за двенадцатую секунду движения.

1.116. Пассажир, стоявший у начала третьего вагона электрички, определил, что начавший двигаться вагон прошел мимо него за $t_1 = 5$ с, а вся электричка — за $t_2 = 15{,}8$ с. Сколько вагонов у электрички? За какое время прошел мимо пассажира последний вагон? Движение электрички считать равноускоренным.

1.117. Доска, разделенная на $n = 5$ равных отрезков, начинает скользить по наклонной плоскости. Первый отрезок прошел мимо отметки, сделанной на наклонной плоскости, в том месте, где находился передний край доски в начале движения, за время $t = 2$ с. За какое время пройдет мимо этой отметки последний отрезок доски? Движение доски считать равноускоренным.

1.118. По наклонной доске пустили снизу вверх шарик. На расстоянии $l = 30$ см от начала движения шарик побывал дважды: через $t_1 = 1$ с

и $t_2 = 2$ с после начала движения. Определить начальную скорость и ускорение движения шарика, считая его постоянным.

1.119. Двигаясь прямолинейно и равноускоренно, тело проходит путь $l_1 = 2$ м за первые $t_1 = 4$ с, а следующий промежуток длиной $l_2 = 4$ м за $t_2 = 5$ с. Определить ускорение тела.

1.120. Материальная точка движется прямолинейно и равномерно со скоростью $v = 2$ м/с в течение времени $t = 4$ с. Затем она получает ускорение, противоположное направлению движения. Определить модуль ускорения точки на втором этапе движения, если она вернулась в начальное положение через время $2t$ после начала движения.

1.121*. Частица пролетает расстояние $l = 2$ м равномерно, а затем тормозит с ускорением $a = 5 \cdot 10^5$ м/с^2. При какой скорости частицы время движения ее от вылета до остановки будет наименьшим?

1.122. При движении тела вдоль оси X его координата изменяется по закону: $x = 9t + 0{,}3t^2$. Какое это движение? Найти зависимости скорости и ускорения от времени. Построить графики зависимости от времени координаты $x(t)$, скорости $v(t)$ и ускорения $a(t)$.

1.123. Точка перемещается вдоль оси X так, что координата зависит от времени по закону: $x = 6t - 0{,}125t^2$. Найти скорость точки в момент времени $t_1 = 2$ с и среднюю скорость за первые $t_2 = 10$ с движения.

1.124. На рисунке 1.15 изображена зависимость координаты тела от времени для трех случаев: I, II, III. Записать закон движения и построить графики зависимости скорости и ускорения от времени в каждом случае. Кривая I — парабола.

1.125. Точка двигалась вдоль оси X согласно графику, изображенному на рисунке 1.16. Какой путь прошла она за время от $t_1 = 1$ с до $t_2 = 5$ с? Каково ее перемещение и средняя скорость за этот интервал времени?

1.126. На рисунке 1.17 дан график зависимости координаты тела от времени. После момента времени t_1 кривая графика — парабола. Описать

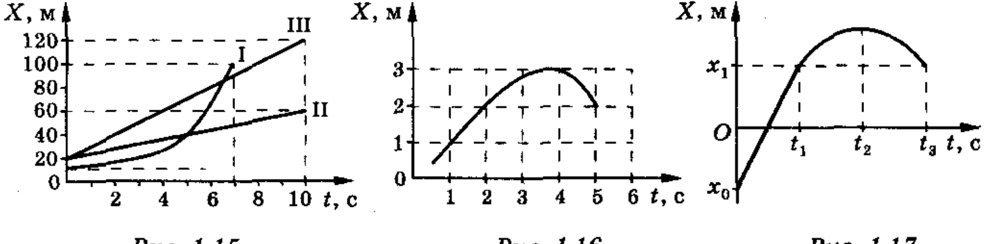


Рис. 1.15   Рис. 1.16   Рис. 1.17

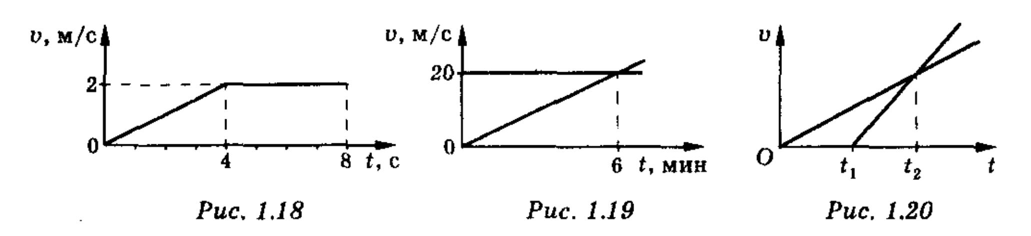


Рис. 1.18 *Рис. 1.19* *Рис. 1.20*

данное движение. Построить графики зависимости скорости и ускорения тела от времени.

1.127. По графику зависимости скорости от времени (рис. 1.18) определить среднюю скорость движения на первой половине пути.

1.128. Две машины в момент времени $t = 0$ вышли из пункта A в одном направлении. По графикам зависимости скорости машин от времени (рис. 1.19) определить время и путь, пройденный каждой машиной до встречи.

1.129. На рисунке 1.20 показаны графики скоростей двух точек, движущихся вдоль одной прямой от одного и того же начального положения. Известны моменты времени t_1 и t_2. По истечении какого времени точки встретятся?

1.130. *Материальная точка начинает движение из состояния покоя* с постоянным ускорением $a_1 = 10$ м/с^2. Спустя $t_1 = 6$ с точка начинает двигаться равномерно в течение $t_2 = 7$ с. В течение следующих $t_3 = 3$ с точка имеет отрицательное ускорение $a_3 = -20$ м/с^2. Построить графики зависимости ускорения, скорости, координаты точки от времени. За начало координат принять начальное положение точки. Найти скорость точки в момент времени $t = 16$ с. Найти путь, на котором происходит торможение точки.

1.131. Тело начинает двигаться из начала координат равноускоренно. Через время $t_1 = 5$ с движение тела становится равномерным со скоростью $v = 3$ м/с. Через время $t_2 = 10$ с от начала движения тело начинает равномерно замедляться так, что через $\Delta t = 2$ с оно останавливается. После остановки тело начинает ускоренно двигаться к началу координат с ускорением $a = 1{,}5$ м/с^2. Через какое время от начала движения тело вновь достигнет начала координат? *Построить график зависимостикоордина*ты этого тела от времени и нарисовать траекторию движения тела.

1.132. Зависимость ускорения тела от времени приведена на рисунке 1.21. Начертить графики зависимости скорости, пере-

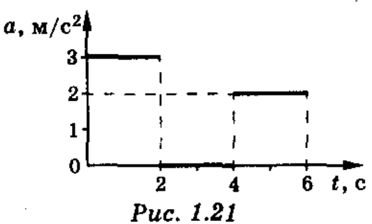


Рис. 1.21

мещения и координаты тела от времени, если начальная скорость тела $v_0 = -3$ м/с и начальная координата тела $x_0 = 2$ м. Пользуясь графиками, найти среднюю скорость перемещения $v_{ср}$ и среднюю путевую скорость v за $t = 6$ с движения.

1.133. Частица движется вдоль оси X согласно графику, приведенному на рисунке 1.22. Участки графиков для интервалов времени: $0 \leqslant t \leqslant 1$ с, 2 с $\leqslant t \leqslant 3$ с представляют собой отрезки прямых, остальные — отрезки парабол. Записать закон движения частицы; построить график зависимости скорости и ускорения от времени; нарисовать траекторию движения частицы.

1.134. Материальная точка движется вдоль оси X так, что скорость зависит от времени в соответствии с приведенным графиком (рис. 1.23). Считая, что при $t_0 = 0$ координата $x_0 = 5$ м, построить графики зависимости координаты, пути и ускорения от времени. Построение обосновать, т. е. записать уравнения, соответствующие графикам.

1.135. По графику зависимости ускорения материальной точки от времени (рис. 1.24) построить графики зависимости скорости, координаты и пути от времени. Построение обосновать, т. е. записать уравнения, соответствующие этим графикам, если в момент времени $t_0 = 1$ с скорость точки $v_0 = -2$ м/с, а ее координата $x_0 = 1$ м. Определить среднюю скорость перемещения v_x и среднюю путевую скорость v за время от $t_1 = -4$ с до $t_2 = 4$ с.

1.136. Два тела, расстояние между которыми l, начинают одновременно двигаться навстречу друг другу: первое равномерно со скоростью v, а второе из состояния покоя равноускоренно с ускорением a. Через какое время они встретятся?

1.137. Два тела, расстояние между которыми l, начинают двигаться одновременно в одном направлении: первое из состояния покоя с постоянным ускорением a, а второе, догоняющее первое, равномерно. При каких значениях скорости второе тело догонит первое?

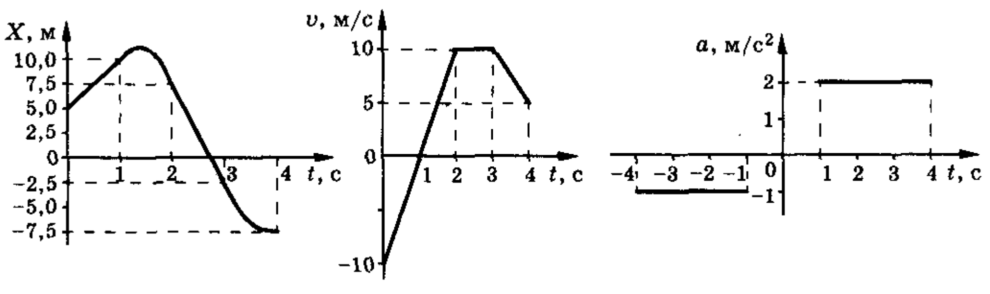


Рис. 1.22 Рис. 1.23 Рис. 1.24

1.138. Два автомобиля начинают одновременное движение с одинаковой скоростью из пункта A в пункт B. Первый движется по прямой дороге, соединяющей A и B, равномерно, второй — по объездной дороге, выполненной в виде полукольца, соединяющего эти же пункты. Скорость второго равномерно увеличивается к концу пути вдвое. Какой из автомобилей приедет раньше в пункт B?

1.139. Перед автомобилем «Москвич», движущимся со скоростью $v_1 = 80$ км/ч, на расстоянии $s = 10$ м от него внезапно появляется грузовик. Каким должно быть минимальное ускорение торможения «Москвича», чтобы не произошло столкновения, если грузовик движется равномерно со скоростью $v_2 = 44$ км/ч?

1.140. За машиной «Жигули», которая ехала со скоростью $v_1 = 54$ км/ч, на расстоянии $s_1 = 20$ м оказался грузовик, движущийся со скоростью $v_2 = 90$ км/ч. Какое минимальное ускорение должно быть у «Жигулей», чтобы интервал между машинами оставался не менее $s_2 = 5$ м? Движение «Жигулей» считать равноускоренным, грузовика — равномерным.

1.141. Два автомобиля движутся по шоссе по следующим законам: $x_1 = 5t + 0{,}2t^2$ и $x_2 = 24 - 4t$. Найти время t_0 и место x_0 их встречи. Определить место нахождения первого автомобиля x_1 в момент времени, когда второй находился в точке $x_2 = 0$.

1.142. Два тела движутся так, что их координаты изменяются согласно законам: $x_1 = -3 + 2t + t^2$ и $x_2 = 7 - 8t + t^2$. Определить относительную скорость v тел в момент их встречи.

1.143. Два автомобиля начинают двигаться из состояния покоя с одинаковыми ускорениями $a = 4$ м/с навстречу друг другу из пунктов A и B. Какова их относительная скорость v в момент встречи? Расстояние между пунктами $s = 100$ м.

1.144. Известен закон движения точки A относительно точки B на прямой: $x_{\text{отн}} = t^2 - 2t + 1$, а также закон движения точки A: $x_A = 1 - t^2$. Найти ускорения точек a_A и a_B и их скорости v_A и v_B в момент времени $t_1 = 1$ с.

1.145. Автомобиль начинает спускаться с горы без начальной скорости и за время $t = 1$ мин приобретает скорость $v_1 = 27$ км/ч. Одновременно навстречу ему начинает подъем в гору автомобиль, имеющий начальную скорость $v_0 = 20$ м/с. За время $t = 1$ мин скорость второго автомобиля уменьшается до $v_2 = 8$ м/с. Какое расстояние будет разделять автомо-

били через $t_1 = 80$ с после начала движения, если длина горы $l = 2$ км? Движение автомобилей считать равноускоренным.

1.146. Тело с начальной скоростью $v_0 = 20$ м/с и ускорением $a_1 = 1$ м/с^2 начинает двигаться из некоторой точки по прямолинейной траектории. Через $t = 30$ с из той же точки вслед за первым телом начинает двигаться другое тело без начальной скорости с ускорением $a_2 = 2$ м/с^2. За какое время второе тело догонит первое?

1.147. Тело с начальной скоростью $v_1 = 3$ м/с и ускорением $a_1 = 0{,}2$ м/с^2 начинает двигаться из точки A по прямой в точку B, отстоящую от A на расстоянии $l = 3{,}46$ км. Через время $t_1 = 20$ с из точки B в точку A начинает равноускоренно двигаться второе тело с начальной скоростью $v_2 = 7$ м/с. Через время $t = 100$ с после начала движения первого тела они встретились. Найти ускорение и скорость второго тела в момент встречи.

1.148. Мимо поста ДПС прошел автомобиль, который двигался с постоянной скоростью $v_1 = 72$ км/ч. Через время $t = 2$ мин от поста отправился в том же направлении второй автомобиль, который в течение $t_1 = 25$ с двигался равноускоренно. Достигнув скорости $v_2 = 90$ км/ч, он далее движется равномерно. Через какое время, считая от начала движения второго автомобиля, и на каком расстоянии от поста второй автомобиль догонит первый?

Движение тела, брошенного вертикально[1]

1.149. Тело брошено вертикально вниз с высоты $h = 40$ м со скоростью $v_0 = 25$ м/с. Какую скорость приобретет тело к моменту падения на землю? Какую скорость приобрело бы тело, если начальная скорость была бы направлена вертикально вверх?

1.150. Мячик бросают вертикально вверх со скоростью $v = 19{,}6$ м/с. Через какое время мячик окажется: а) в наивысшей точке движения; б) в точке броска?

1.151. Во сколько раз надо увеличить начальную скорость тела, чтобы, бросая его вертикально вверх, увеличить высоту его наибольшего подъема в 4 раза?

[1] Во всех задачах данного раздела предполагается, что сопротивлением воздуха можно пренебречь (в рамках выбранной модели решения).

1.152. Свободно падающее тело в некоторый момент времени находилось на высоте $h_1 = 1100$ м, а спустя время $t = 10$ с — на высоте $h_2 = 120$ м над поверхностью земли. С какой высоты падало тело?

1.153. Парашютист Евдокимов в 1934 г. пролетел при затяжном прыжке, не раскрывая парашюта, $h = 7680$ м за время $t = 142$ с. На сколько секунд сопротивление воздуха увеличило время падения парашютиста?

1.154. С какой начальной скоростью нужно бросить вертикально вниз тело с высоты $h = 19{,}6$ м, чтобы оно упало на $\Delta t = 1$ с быстрее тела, свободно падающего с той же высоты?

1.155. Тело свободно падает с высоты $h = 100$ м. За какое время тело проходит первый и последний метр своего пути? Какой путь проходит тело за первую секунду своего движения; последнюю секунду своего движения?

1.156. С крыши дома оторвалась сосулька и за $t = 0{,}2$ с пролетела мимо окна, высота которого $h = 1{,}5$ м. С какой высоты относительно верхнего края окна она оторвалась? Размерами сосульки пренебречь.

1.157. Мячик, отскочивший от поверхности земли вертикально вверх со скоростью $v = 10$ м/с, пролетел мимо окна, высота которого $h = 1{,}5$ м, за время $t = 0{,}2$ с. На какой высоте относительно поверхности земли находится подоконник?

1.158. Тело, свободно падающее с некоторой высоты, последние $\Delta h = 196$ м пути прошло за время $\Delta t = 4$ с. Какое время и с какой высоты падало тело? Построить графики зависимости скорости и ускорения тела от времени.

1.159. Тело падает без начальной скорости с высоты $h = 45$ м. Найти среднюю скорость падения на второй половине пути.

1.160. Тело, свободно падающее с некоторой высоты, за время t после начала движения проходит путь в $n = 5$ раз меньший, чем за такой же промежуток времени в конце движения. Найти высоту, с которой падало тело.

1.161. Тело, свободно падающее с некоторой высоты, первый участок пути проходит за время t, а такой же последний — за время $\frac{t}{2}$. Найти высоту, с которой падало тело.

1.162. Жонглер бросает вертикально вверх с одной высоты с одинаковой начальной скоростью $v_0 = 4{,}9$ м/с шарики через каждые $t = 0{,}2$ с. На каком расстоянии h друг от друга будут находиться два первых шара

в момент, когда он бросает четвертый шар? С какой скоростью относительно друг друга $v_{\text{отн}}$ они будут двигаться? Каким количеством шаров он может жонглировать при таких условиях?

1.163. Два тела, расположенные по одной вертикали на расстоянии $l = 1$ м друг от друга, начинают одновременно свободно падать вниз. Как будет меняться расстояние s между телами? Нарисовать график зависимости координат тел от времени. Начало координат соответствует расположению верхнего тела, ось координат направлена вертикально вниз.

1.164. Два тела, расположенные на одной высоте, начинают свободно падать с интервалом $\Delta t = 2$ с. Как будет изменяться расстояние s между телами? Нарисовать график зависимости расстояния s от времени t. Начало отсчета времени $t_0 = 0$ — момент падения первого тела ($g \approx 10$ м/с^2).

1.165. Тело брошено со скоростью $v = 14{,}7$ м/с вертикально вверх с высоты $h = 19{,}6$ м над поверхностью земли. Определить среднюю скорость $v_{\text{ср}}$ и среднюю путевую скорость v за время полета.

1.166. Ракета стартует и движется вертикально вверх с ускорением $a = 2g$. Через $t_0 = 20$ с полета двигатель отключается. Через какое время с момента старта ракета упадет на землю? Нарисовать графики зависимости ускорения, скорости, координаты и пути ракеты от времени.

1.167. Аэростат начинает с земли подниматься вертикально вверх равноускоренно и за время $t_1 = 10$ с достигает высоты $h = 200$ м. Через $t_2 = 5$ с после старта из аэростата выпадает камень без начальной скорости относительно него. Какой максимальной высоты достигнет камень? Каким будет расстояние между аэростатом и камнем в момент его падения на землю? С какой скоростью камень упадет на землю? Начертить для камня графики зависимостей $v_y(t)$, $y\,(t)$, $s\,(t)$. Ось Y направить вертикально вверх, за начало координат принять поверхность земли, за начало отсчета времени — момент выпадения камня из аэростата.

1.168. Аэростат поднимается с постоянной скоростью v_0. На высоте h с него сбрасывается груз без начальной скорости относительно аэростата. Найти время падения груза на землю. Какова его скорость в момент соприкосновения с землей?

1.169. Парашютист спускается равномерно со скоростью $u = 0{,}5$ м/с. В какой-то момент времени парашютист подбрасывает вертикально вверх небольшое тело с начальной скоростью $v_0 = 4{,}5$ м/с относительно себя. Какое расстояние окажется между парашютистом и телом, находящимся в высшей точке своего полета?

1.170. Парашютист, спускающийся равномерно со скоростью $v = 5$ м/с, в момент, когда он находился на высоте $H = 100$ м над поверхностью земли, бросил вертикально вниз небольшое тело со скоростью $v_0 = 10$ м/с относительно себя. Какой промежуток времени разделяет моменты приземления тела и парашютиста?

1.171°. *Парашютист, опускающийся равномерно со скоростью* $v = 5$ м/с, бросает вертикально вверх небольшое тело со скоростью $v_0 = 10$ м/с относительно себя. Через какое время t после броска тело и парашютист вновь окажутся на одной высоте? Чему будет равна скорость тела в этот момент? На какой высоте относительно точки броска это произойдет?

1.172. С воздушного шара, опускающегося вертикально вниз с постоянной скоростью $v_1 = 2$ м/с, бросили вертикально вверх камень со скоростью $v_2 = 10$ м/с относительно земли. Каким будет максимальное расстояние между шаром и камнем?

1.173. Мяч свободно падает с высоты $h = 15$ м на горизонтальную поверхность. При каждом отскоке его скорость уменьшается в $n = 2$ раза. Найти путь, пройденный мячом до полной остановки.

1.174. Человек, находящийся в лифте, который поднимается со скоростью v, с высоты H от пола роняет мяч. Определить промежуток времени между двумя последовательными ударами мяча о пол лифта, считая их абсолютно упругими.

1.175. Камень падает в ущелье. Через $t = 6$ с слышен звук удара камня о землю. Определить глубину ущелья h. Скорость звука $v = 330$ м/с.

1.176°. Камень сбрасывают с высоты H. В то же время вертикально вверх бросают с земли шарик с начальной скоростью v_0. Определить время t, через которое встретятся камень и шарик. При какой скорости v_0 возможна их встреча? В каком направлении (вверх или вниз) движется шарик в момент встречи?

Прямолинейное переменное движение

1.177*. Точка движется по прямой согласно закону $x = At + Bt^3$, где $A = 6$ м/с; $B = -0{,}125$ м/с^3. Определить: среднюю скорость точки в интервале времени от $t_1 = 2$ с до $t_2 = 6$ с; координату точки в тот момент времени, когда скорость тела будет равна нулю.

1.178*. Точка движется вдоль оси X по закону $x = 2t^2 - 4t^3$. Найти направление движения в моменты времени: а) $t_1 = 0{,}25$ с; б) $t_2 = 0{,}5$ с. Чему будут равны ускорения в эти моменты времени?

1.179*. Тело движется прямолинейно, причем скорость зависит от времени по закону: $v = 3t^3 - 5t + 2$. Определить зависимость ускорения от времени $a(t)$. Каково значение ускорения при $t = 5$ с?

1.180°. Частица движется в положительном направлении оси X так, что ее скорость изменяется по закону $v = \alpha\sqrt{x}$, где α — положительная постоянная. Имея в виду, что в момент времени $t = 0$ она находилась в точке $x = 0$, найти: зависимость скорости и ускорения частицы от времени; среднюю скорость частицы за время, в течение которого она пройдет l метров пути.

Движение материальной точки на плоскости

1.181. Материальная точка переместилась из точки с координатами $x_1 = 0$ м и $y_1 = 5$ м в точку с координатами $x_2 = -3$ м, $y_2 = 1$ м. Найти перемещение $\Delta\vec{r}$. Определить модуль перемещения $|\Delta\vec{r}|$ и его проекции на оси координат Δr_x и Δr_y.

1.182. Человек, двигаясь прямо на север, прошел путь $s_1 = 10$ км за время $t_1 = 2{,}5$ ч, затем он повернул на восток и прошел еще $s_2 = 5$ км за $t_2 = 1$ ч. После этого он пошел точно на юго-запад со скоростью $v = 5$ км/ч и шел еще $t_3 = 0{,}5$ ч. Чему равна средняя путевая скорость v_s и модуль средней скорости $|\vec{v}_{ср}|$?

1.183. Тело совершает два последовательных, одинаковых по модулю перемещения со скоростью $v_1 = 20$ м/с под углом $\alpha = 60°$ и со скоростью $v_2 = 40$ м/с под углом $\beta = 120°$ к оси X (рис. 1.25). Найти модуль средней скорости и среднюю путевую скорость.

1.184. Первую половину времени тело движется со скоростью $v_1 = 20$ м/с под углом $\alpha_1 = 60°$ к оси X, а вторую половину времени — под углом $\alpha_2 = 120°$ к оси X со скоростью $v_2 = 40$ м/с (рис. 1.25). Найти модуль средней скорости и среднюю путевую скорость.

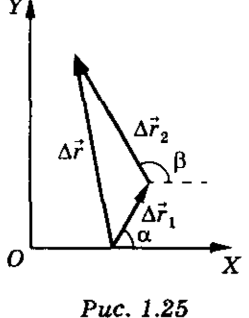


Рис. 1.25

1.185°. По прямому шоссе со скоростью $v_1 = 16$ м/с движется автобус. Человек находится на расстоянии $a = 60$ м от шоссе и на расстоянии $b = 400$ м от автобуса. В каком направлении должен бежать человек со скоростью $v_2 = 4$ м/с, чтобы выйти к какой-либо точке шоссе одновременно с автобусом или раньше его?

1.186. Из начала координат одновременно начинают двигаться две точки. Первая движется по оси X со скоростью $v_1 = 4$ м/с, а вторая — по оси Y со скоростью $v_2 = 7$ м/с. С какой скоростью они удаляются друг от друга?

1.187. Две частицы движутся в одной плоскости со скоростями $v_1 = 4$ м/с и $v_2 = 7$ м/с, причем угол между направлениями их движений $\alpha = 60°$. С какой скоростью v первая частица удаляется от второй? Какой угол составляет скорость v с направлением движения второй частицы?

1.188*. Две точки движутся по осям X и Y (рис. 1.26). В момент времени $t_0 = 0$ точка 1 находилась на расстоянии $l_1 = 10$ см, а точка 2 на расстоянии $l_2 = 5$ см от начала координат. Первая точка движется со скоростью $v_1 = 2$ см/с, а вторая — со скоростью $v_2 = 4$ см/с. Встретятся ли они? Если нет, то какое наименьшее расстояние будет между точками?

1.189. Прямая, образующая угол $\alpha = 30°$ с положительным направлением оси X, движется со скоростью v (рис. 1.27). С какой скоростью движется точка пересечения этой прямой с осью Y?

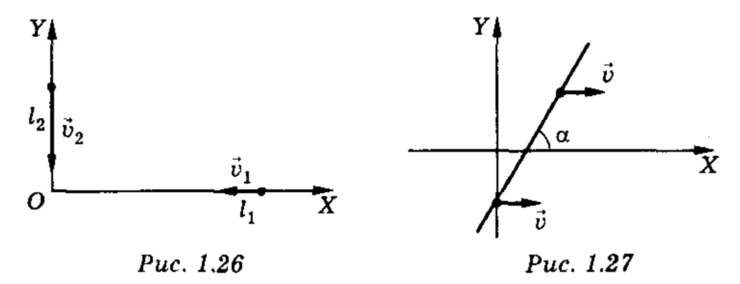


Рис. 1.26 *Рис. 1.27*

1.190°. Четыре черепахи находятся в углах квадрата со стороной a. Они начинают одновременно двигаться с одинаковой скоростью v, причем первая черепаха все время держит курс на вторую, вторая на третью, третья на четвертую, четвертая на первую. Встретятся ли черепахи? А если встретятся, то через какое время? Сколько оборотов они сделают за это время?

1.191. Ускоренно движущееся тело за $\Delta t = 5$ с увеличило свою скорость в $n = 2$ раза. Чему равен модуль среднего ускорения тела, если модуль первоначальной скорости $v = 10$ м/с, а направление движения тела изменилось на $\alpha = 60°$?

1.192. Материальная точка движется равнопеременно и в момент времени $t_0 = 0$ модуль скорости $v = 1$ м/с. К моменту времени $t = 1$ с скорость тела увеличилась в $n_1 = 3$ раза, а к моменту времени $t_1 = 2t$ скорость тела увеличилась еще в $n_2 = 2$ раза. Определить ускорение материальной точки.

1.193. Космический корабль движется в открытом космосе со скоростью v. Требуется изменить направление движения на $\alpha = 90°$, оставив модуль скорости неизменным. Найти минимальное время, необходимое для такого маневра, если двигатель может сообщить кораблю в любом направлении ускорение, не превышающее a.

1.194*. Закон движения материальной точки имеет вид: $\vec{r} = 2t\vec{i} + (2 + 3t^2)\vec{j}$. 1) Найти: а) радиус-вектор и его модуль в моменты времени $t_0 = 0$, $t_1 = 1$ с, $t_2 = 2$ с; б) перемещение и модуль перемещения за 2 с движения ($\Delta\vec{r}$ и Δr), за вторую секунду движения ($\Delta\vec{r}_2$ и Δr_2); в) уравнение траектории движения $y(x)$.

Нарисовать траекторию движения и показать на рисунке $\vec{r}_0$, $\vec{r}_1$, $\vec{r}_2$, $\Delta\vec{r}$, $\Delta\vec{r}_2$.

2) Найти в момент времени $t = 2$ с: а) скорость $\vec{v}$ и модуль скорости v; б) ускорение $\vec{a}$ и модуль ускорения a; в) угол α между скоростью и ускорением; г) тангенциальное ускорение a; д) нормальное ускорение a_n; е) радиус кривизны траектории R.

3) На рисунке показать $\vec{v}$, $\vec{a}$, α, a_τ, a_n в момент времени $t = 2$ с.

1.195*. Закон движения материальной точки имеет вид: $\vec{r}(t) = 2t\vec{i} - (t^2 - 1)\vec{j}$. Найти уравнение траектории, закон изменения скорости и ускорения от времени.

1.196*. Закон движения материальной точки имеет вид: $x = \alpha_1 + \beta_1 t + \gamma_1 t^2$; $y = \alpha_2 + \beta_2 t + \gamma_2 t^2$, где $\beta_1 = \beta_2 = 1$ м/с, $\gamma_1 = -1$ м/с^2, $\gamma_2 = 2$ м/с^2. Каково ее ускорение? Определить угол между скоростью и ускорением в момент времени $t = 1$ с.

1.197*. Точка движется в плоскости XY вдоль оси X равномерно со скоростью $v_x = 0{,}5$ м/с, а вдоль оси Y так, что уравнение траектории имеет вид $y = 0{,}2x^2 + 15x^3$. Найти зависимость скорости движения точки вдоль оси Y от времени, полагая, что при $t = 0$ точка находилась в начале координат.

1.198*. Воздушный шар начинает подниматься с поверхности земли. Скорость его подъема постоянна и равна v_0. Благодаря ветру шар приобретает горизонтальную компоненту скорости $v_x = \alpha y$, где α — постоянная, y — высота подъема. Найти зависимость от высоты подъема y величины сноса шара x и модуля скорости v.

1.199°. Первая точка движется по траектории $y = 5x^2$. Закон движения второй точки: $x = 2t$, $y = 8t$. Возможна ли встреча этих точек? Если да, то в какой момент времени и каковы координаты их места встречи?

1.200*. Закон движения частицы A имеет вид: $\vec{r} = R\sin\omega t \cdot \vec{i} + R\cos\omega t \cdot \vec{j}$, где R и ω — некоторые положительные постоянные. Найти уравнение траектории частицы. Где находилась частица A в начальный момент времени ($t_0 = 0$)? В каком направлении движется частица? Чему равны скорость $\vec{v}$ и модуль скорости v частицы в любой момент времени?

1.201*. Координаты частиц изменяются по закону $x = A\cos\omega t$, $y = B\sin\omega t$, где A и B — постоянные. Найти векторы скорости и ускорения частицы. Определить траекторию движения частицы. Определить моменты времени τ, когда скорость частицы будет перпендикулярна ее радиус-вектору.

1.202*. Две точки движутся так, что координаты первой: $x_1 = 2\cos 2\pi t$, $y_1 = 2\sin 2\pi t$, а радиус-вектор второй точки $r_2 = 4t\vec{i} + (1 - 4t^2)\vec{j}$. По каким траекториям движутся точки? Нарисовать данные траектории. Определить расстояние l между точками через $t = 0{,}5$ с от начала движения. Точки начинают движение в момент $t_0 = 0$.

Движение материальной точки по окружности

1.203. На сколько километров орбита первого спутника Земли короче орбиты третьего спутника, если средние радиусы их орбит отличаются на $\Delta R = 410$ км?

1.204. Найти линейную скорость Луны, обусловленную ее обращением вокруг Земли. Период вращения Луны (синодический месяц) $T = 27{,}3$ сут. Расстояние Земля—Луна $R = 3{,}84 \cdot 10^5$ км.

1.205. Корабль-спутник «Восток-5» с космонавтом Николаевым на борту совершил $N = 64$ оборота вокруг Земли за $t = 95$ ч. Определить среднюю скорость полета v. Орбиту корабля можно считать круговой и отстоящей от поверхности Земли на $h = 230$ км.

1.206. *Равномерно движущаяся по окружности точка делает полный* оборот за $T = 5$ с. Чему равна угловая скорость точки ω? Чему равен угол поворота точки $\Delta\varphi$ за время $\Delta t = 2$ с?

1.207. Скорость точек рабочей поверхности шлифовального круга не должна превышать $v = 100$ м/с. Найти предельную частоту вращения круга n, диаметр которого $d = 40$ см. Определить нормальное ускорение a_n точек рабочей поверхности круга.

1.208. Большой шкив ременной передачи имеет радиус R_1 = 32 см и вращается с частотой n_1 = 120 об/мин. Малый шкив имеет радиус R_2 = 24 см. Найти угловую скорость, число оборотов в секунду малого шкива и линейную скорость точек ремня, который движется без проскальзывания[1].

1.209. Диск равномерно вращается относительно оси, проходящей через его центр и ему перпендикулярной. Линейная скорость точек края диска v_1 = 3 м/с. У точек, расположенных на расстоянии l = 10 см ближе к оси, скорость v_2 = 2 м/с. Какова частота n вращения диска?

1.210. Найти радиус R вращающегося колеса, если известно, что линейная скорость точек обода колеса в k = 2,5 раза больше линейной скорости точки, лежащей на расстоянии d = 5 см ближе к оси колеса.

1.211. Ось с двумя дисками, расположенными на расстоянии l = 0,5 м друг от друга, вращается с частотой n = 1600 об/мин. Пуля, летящая вдоль оси, пробивает оба диска: при этом отверстие от пули во втором диске смещено относительно отверстия в первом диске на угол φ = 12°. Найти скорость пули v.

1.212. Найти линейную скорость v и нормальное ускорение a_n точек земной поверхности на: а) экваторе; б) географической широте φ = 60°, обусловленные вращением Земли вокруг своей оси.

1.213. Три самолета выполняют разворот в горизонтальной плоскости, двигаясь по траекториям, которые показаны на рисунке 1.28, на расстоянии l = 60 м друг от друга. Ближайший к центру виража самолет движется по окружности радиусом R = 600 м. Средний самолет движется со скоростью v_2 = 360 км/ч. Найти ускорение каждого самолета.

1.214. Две точки M и K движутся по окружности (рис. 1.29) с постоянными угловыми скоростями ω_M = 0,2 рад/с, ω_K = 0,3 рад/с. В начальный момент времени угол между радиусами этих точек равен $\pi/3$. В какой момент времени t точки встретятся?

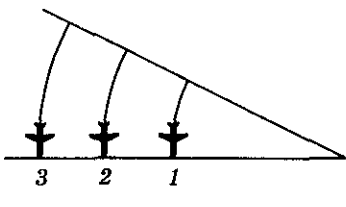




Рис. 1.28

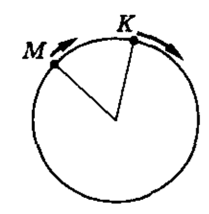


Рис. 1.29

[1] Линейная скорость точек ремня равна линейной скорости крайних точек каждого шкива.

1.215. Кошка бежит за мышкой по окружности радиусом $R = 5$ м с постоянной скоростью $v_к = 40$ км/ч. Когда расстояние по дуге между ними было равно 1/8 длины окружности, мышка начала убегать со скоростью $v_м = 50$ км/ч. Через какое время t мышка удалится от кошки на расстояние, равное половине длины окружности?

1.216. Две точки равномерно движутся по окружности. Первая точка, двигаясь по часовой стрелке, делает один оборот за $T_1 = 5$ с, вторая точка, двигаясь против часовой стрелки, делает один оборот за $T_2 = 2$ с. Найти время t между двумя последовательными встречами точек.

1.217. Сколько раз N в сутки встречаются часовая и секундная стрелки часов?

1.218. Две точки одновременно начали движение с одинаковой постоянной скоростью $v = 0{,}5$ м/с; одна по окружности радиуса $r = 5$ м, другая по окружности радиуса $R = 10$ м (рис. 1.30). Найти угол между направлениями ускорений точек через время $t = 1$ мин после начала движения, если в начальный момент точки находились на одном радиусе.

1.219. Небольшое тело движется по окружности радиуса $R = 1$ м. Определить модуль перемещения за время, в течение которого тело делает: а) оборот; б) $\frac{1}{2}$ оборота; в) $\frac{1}{4}$ оборота; г) тело поворачивается на угол $\alpha = 60°$.

1.220. За промежуток времени $\Delta t = 10$ с тело прошло половину окружности радиуса $R = 100$ см. Найти среднюю путевую скорость v и модуль средней скорости $|\vec{v}_{ср}|$.

1.221. Однородный диск радиусом $R = 0{,}5$ м катится без проскальзывания со скоростью $v = 2$ м/с. Найти скорость точек диска A, B, C, D, E (рис. 1.31). Найти геометрическое место всех точек диска, скорость которых $v = 2$ м/с. Угол $\alpha = 60°$.

1.222. Колесо, пробуксовывая, катится по ровной, горизонтальной дороге. Найти скорость центра колеса v (рис. 1.32), если известно, что скорость его нижней точки $v_1 = 2$ м/с, а верхней — $v_2 = 10$ м/с.

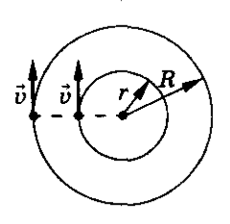


Рис. 1.30

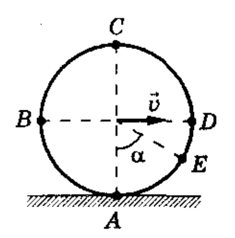


Рис. 1.31

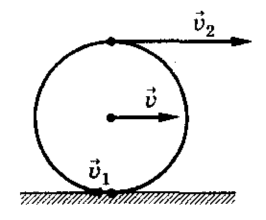


Рис. 1.32

1.223. Обруч, проскальзывая, катится по горизонтальной поверхности (рис. 1.33). В некоторый момент времени скорость верхней точки A $v_A = 6$ м/с, а нижней точки B $v_B = 2$ м/с. Определить скорость концов диаметра CD, перпендикулярного к AB, для того же момента времени. Под какими углами они направлены к горизонту?

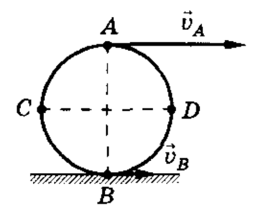


Рис. 1.33

1.224. Цилиндр радиуса R зажат между движущимися со скоростями v_1 и v_2 параллельными рейками (рис. 1.34). С какой угловой скоростью вращается цилиндр? Проскальзывания нет.

1.225. Катушка с намотанной на ней нитью лежит на горизонтальном столе и может катиться по нему без скольжения. Внешний радиус катушки R, внутренний r (рис. 1.35). С какой скоростью v_0 и в каком направлении будет перемещаться ось катушки O, если конец нити тянуть в горизонтальном направлении со скоростью v? Как изменится ответ, если нить будет сматываться сверху?

1.226. Шарик радиуса $R = 5$ см катится равномерно и без проскальзывания по двум параллельным линейкам, расстояние между которыми $d = 6$ см (рис. 1.36), и за время $t = 2$ с проходит расстояние $l = 120$ см. С какими скоростями движутся верхняя и нижняя точки шарика?

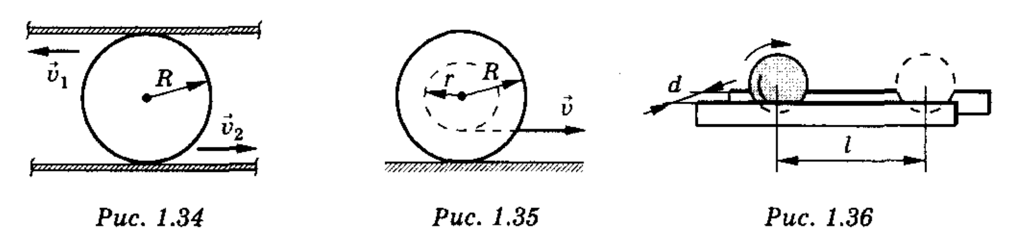


Рис. 1.34 *Рис. 1.35* *Рис. 1.36*

1.227*. Автомобиль движется по закругленному шоссе, имеющему радиус кривизны $R = 40$ м. Закон движения автомобиля имеет вид $s = A + Bt + Ct^2$, где $A = 5$ м; $B = 12$ м/с, $C = -0{,}5$ м/с^2. Найти скорость автомобиля v, его тангенциальное a_τ, нормальное a_n и полное a ускорения в момент времени $t = 4$ с.

1.228*. Угол поворота диска радиусом $R = 10$ см изменяется со временем по закону $\varphi = 4 + 2t - t^3$. Определить зависимости от времени угловой скорости, углового ускорения и линейной скорости точек диска.

1.229. Материальная точка движется по окружности радиуса $R = 10$ см. Пройденный путь зависит от времени по закону $l = At$, где $A = 1$ м/с.

Найти линейную и угловую скорости, ускорение точки и число оборотов, сделанных ею за первые 5 с после начала движения.

1.230. Точка движется по окружности с постоянным угловым ускорением $\varepsilon = 1$ рад/с^2. Найти угол между скоростью и ускорением через $t = 1$ с после начала движения. Начальная скорость точки (при $t_0 = 0$) $\upsilon_0 = 0$.

1.231. Частица начинает двигаться по окружности с постоянным тангенциальным ускорением. Найти угол между скоростью и ускорением после первого оборота. Начальная скорость точки равна нулю.

1.232*. Точка движется по окружности радиуса $R = 2$ м по закону $\varphi = 2 + 2t - t^2$. Определить путь l, пройденный точкой до остановки. Определить ускорение точки в момент времени $t_1 = 0{,}5$ с.

1.233. По окружности радиуса $R = 2$ м одновременно движутся две точки так, что законы их движения имеют вид: $\varphi_1 = 2 + 2t$ и $\varphi_2 = -3 - 4t$. Определить относительную скорость υ в момент их встречи.

1.234*. Шкив радиусом $R = 0{,}5$ м приводится во вращение с помощью веревки, намотанной на него (рис. 1.37). Конец веревки тянут с ускорением $a_0 = 0{,}1$ м/с^2. Найти нормальное a_n, тангенциальное a_τ и полное ускорение нижней точки A шкива спустя $t = 2$ с после начала вращения.

1.235*. Скорость центра колеса, катящегося без проскальзывания по горизонтальной поверхности (рис. 1.38), изменяется со временем по закону $\upsilon = 1 + 2t$. Радиус колеса $R = 1$ м. Найти скорости и ускорения четырех точек A, B, C, D колеса, лежащих на концах взаимно перпендикулярных диаметров, один из которых горизонтален, в момент времени $t = 0{,}5$ с.

1.236°. Два одинаковых диска расположены так, как показано на рисунке 1.39. Диск *1* неподвижен, а диск *2* вращается без проскальзывания относительно диска *1*. На какой угол α повернется диск *2*, обойдя один раз диск *1*?

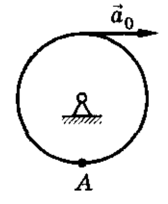


Рис. 1.37

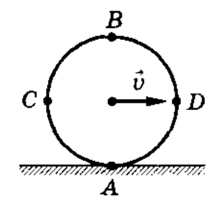


Рис. 1.38

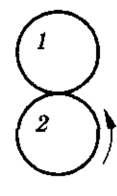


Рис. 1.39

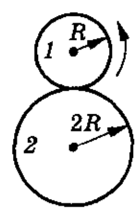


Рис. 1.40

1.237°. У диска *1* радиус R, у диска *2* радиус в два раза больше (рис. 1.40). Диск *2* неподвижен. Сколько оборотов N без проскальзывания сделает диск *1*, обойдя один раз диск *2*?

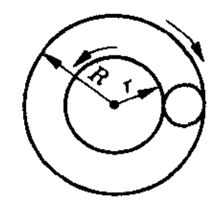


Рис. 1.41

1.238°. Два концентрических колеса радиусами $R = 50$ см и $r = 25$ см вращаются в противоположные стороны с угловыми скоростями $\omega_1 = 5$ рад/с и $\omega_2 = 10$ рад/с соответственно. Между ними зажато третье колесо так, как показано на рисунке 1.41. Какова угловая скорость вращения этого колеса вокруг собственной оси? Проскальзывания нет.

Движение тела, брошенного горизонтально[1]

1.239. В каком случае выпавший из окна вагона предмет упадет на землю раньше: когда вагон стоит на месте или когда движется?

1.240. Горизонтально летящая пуля пробивает последовательно два вертикальных листа бумаги, расположенных на расстоянии $l = 30$ м друг от друга. При этом пробоина на втором листе оказывается на $h = 2$ мм ниже, чем на первом. С какой скоростью подлетела пуля к первому листу?

1.241. С самолета, летящего горизонтально со скоростью v на высоте H, сброшен груз. На какой высоте h скорость груза будет направлена под углом α к горизонту? Найти радиус кривизны траектории R на данной высоте. Чему равно расстояние l между грузом и самолетом в момент падения груза на землю?

1.242. Тело брошено горизонтально. Через время $t = 5$ с после броска угол между скоростью и ускорением стал $\beta = 45°$. Определить скорость тела v в этот момент. В какой момент времени t_1 после броска скорость тела будет в два раза больше его начальной скорости?

1.243. Камень брошен горизонтально со склона горы, образующего угол $\alpha = 45°$ с горизонтом (рис. 1.42). Чему равна начальная скорость v_0 камня, если он упал на склон на расстоянии $l = 50$ м от точки бросания?

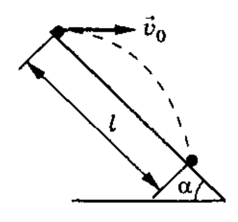


Рис. 1.42

---

[1] В рамках выбранной модели решения предполагается, что сопротивлением воздуха можно пренебречь во всех задачах данного и следующего разделов.

1.244. Для тела, брошенного горизонтально с начальной скоростью v_0, построить график зависимости тангенса угла наклона скорости к горизонту в зависимости от координаты x (т. е. расстояния по горизонтали от места бросания).

1.245. Тело, брошенное горизонтально с высоты $h = 80$ м, упало на землю на расстоянии $l = 60$ м (по горизонтали). Найти перемещение тела за время, в течение которого скорость увеличивается в $n = 2$ раза. Какой угол составляет перемещение с горизонтом?

1.246. Тело брошено горизонтально с горы, высота которой $h = 80$ м с начальной скоростью $v_0 = 25$ м/с. Найти перемещение и угол, который составляет перемещение с горизонтом, между двумя точками полета тела, в которых скорости соответственно $v_1 = 30$ м/с и $v_2 = 40$ м/с.

1.247. Вертолет летит горизонтально со скоростью $v = 160$ км/ч на высоте $H = 500$ м. С вертолета нужно сбросить вымпел на теплоход, движущийся встречным курсом со скоростью $u = 20$ км/ч. На каком по горизонтали расстоянии от теплохода летчик должен сбросить вымпел?

1.248. С горизонтально летящего самолета производится выстрел. Скорость самолета и начальная скорость пули равны по модулю и противоположны по направлению. Скорость самолета дана в системе отсчета *«Земля»*, *скорость полета пули — в системе отсчета* «Самолет». Какой будет траектория пули в системе отсчета «Земля» и в системе отсчета «Самолет»?

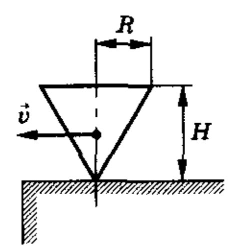


Рис. 1.43

1.249. По гладкому столу движется, вращаясь вокруг своей оси, волчок, имеющий форму конуса высоты H и радиуса R (рис. 1.43). При какой скорости v поступательного движения волчок не ударится о край стола, соскочив с него?

Движение тела, брошенного под углом к горизонту

1.250. Из орудия произведен выстрел под углом α к горизонту. Начальная скорость снаряда v_0. Поверхность горизонтальна. Найти: а) горизонтальную v_x и вертикальную v_y проекции скорости снаряда, как функции времени t; б) зависимости координат x и y от времени; в) уравнение траектории; г) время полета $t_п$; д) наибольшую высоту h_{max} и дальность полета l снаряда. При каком значении угла α дальность полета будет максимальной?

1.251. Под каким углом α к горизонту необходимо бросить тело, чтобы максимальная высота подъема была вдвое меньше дальности бросания?

1.252. Два тела брошены под углом α и $(90° - \alpha)$ к горизонту с одинаковой начальной скоростью. Найти отношение дальностей полета тел и максимальных высот подъема.

1.253. Какой начальной скоростью v_0 должна обладать сигнальная ракета, выпущенная под углом $\alpha = 45°$ к горизонту, чтобы она вспыхнула в наивысшей точке своей траектории? Время горения запала ракеты $t = 6$ с.

1.254. Два тела брошены с земли под углами $\alpha_1 = 30°$ и $\alpha_2 = 45°$ к горизонту из одной точки. Каково отношение сообщенных им начальных скоростей $\left(\frac{v_1}{v_2}\right)$, если тела упали на землю также в одной точке?

1.255. Пушка и цель находятся на одном уровне на расстоянии 5,1 км друг от друга. За какое время снаряд с начальной скоростью 240 м/с достигнет цели?

1.256. Мальчик бросает мяч со скоростью $v_0 = 10$ м/с под углом $\alpha = 45°$ в сторону стены, стоя на расстоянии $l = 4$ м от нее. На каком расстоянии от стены должен встать мальчик, чтобы поймать мяч? Удар мяча о стенку считать абсолютно упругим.

1.257°. Тело брошено со скоростью $v_0 = 20$ м/с под углом $\alpha = 60°$ к горизонту. Найти координаты точек траектории тела, в которых вектор скорости составляет с горизонтом угол $\beta = 45°$, если начало координат — точка бросания тела.

1.258. Из шланга, установленного на земле, бьет под углом $\alpha = 30°$ к горизонту струя воды с начальной скоростью $v_0 = 15$ м/с. Площадь сечения отверстия шланга $S = 1$ см^2. Определить массу воды в струе, находящейся в воздухе.

1.259°. Из отверстия шланга, прикрытого пальцем, бьют две струи под углами α и β к горизонту с одинаковой начальной скоростью v_0. На каком расстоянии от отверстия по горизонтали они пересекаются?

1.260°. Тело брошено со скоростью $v = 10$ м/с по углом $\alpha = 45°$ к горизонту. Найти радиусы кривизны траектории тела в начальный момент его движения, спустя время $t = 0,5$ с и в точке наивысшего подъема тела над поверхностью земли.

1.261°. Под каким углом α к горизонту надо бросить шарик, чтобы:

а) радиус кривизны траектории в начальный момент времени был в $\eta = 8$ раз больше, чем в вершине;

б) центр кривизны вершины траектории находился на земной поверхности?

1.262°. В сферической лунке прыгает шарик (рис. 1.44), упруго ударяясь о ее стенки в двух точках, расположенных на одной горизонтали. Промежуток времени при движении шарика слева направо равен T_1, а при движении справа налево — T_2. Определить радиус R лунки.

1.263. С какой скоростью v_0 и под каким углом α к горизонту было брошено тело, если в первую ($t_1 = 1$ с) секунду движения скорость уменьшилась в 2 раза и в последующую секунду движения она еще уменьшилась в 2 раза?

1.264. Для тела, брошенного с земли с начальной скоростью v_0 под углом α к горизонту, построить график зависимости проекции скорости v_y от: а) времени t; б) координаты x (т. е. от расстояния по горизонтали от места бросания).

1.265*. Тело брошено с поверхности земли под углом $\alpha = 60°$ к горизонту с начальной скоростью $v_0 = 20$ м/с. Найти перемещение, его модуль и направление от начальной точки бросания тела до ближайшей точки, в которой нормальное ускорение тела $a_n = 8$ м/с^2.

1.266*. Тело брошено под углом к горизонту так, что его радиус-вектор изменяется по закону: $\vec{r} = (5 + 3t)\,\vec{i} + (5 + 2t - 4{,}9t^2)\,\vec{j}$. Ось X направлена вдоль поверхности земли, ось Y — перпендикулярно поверхности. Под каким углом к горизонту α брошено тело?

1.267°. Сферическая горка имеет радиус R. При какой наименьшей скорости v_0 камень, брошенный с поверхности земли, перелетит через горку, не коснувшись ее поверхности (рис. 1.45)?

1.268°. При какой минимальной начальной скорости можно перебросить камень через дом с покатой крышей? Ближайшая стена имеет высоту H, задняя стена — высоту h, ширина дома равна l (рис. 1.46).

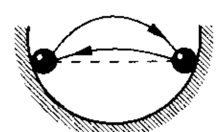
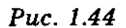



Рис. 1.44



Рис. 1.45

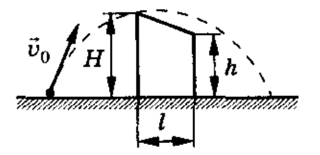


Рис. 1.46

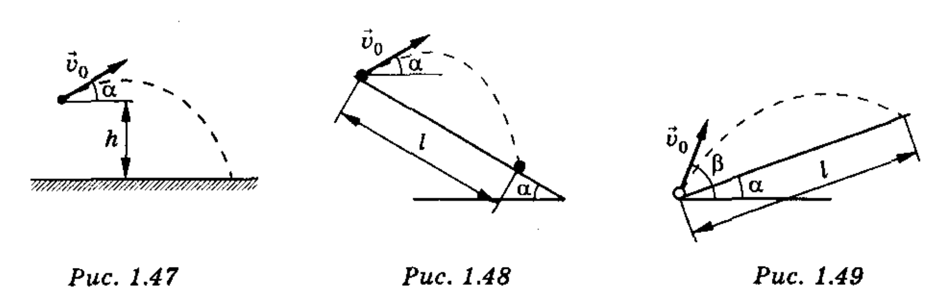


Рис. 1.47 Рис. 1.48 Рис. 1.49

1.269. Миномет установлен под углом $\alpha = 60°$ к горизонту на крыше здания, высота которого $h = 40$ м. Начальная скорость мины $v_0 = 50$ м/с. Написать закон движения и уравнение траектории. Определить время t полета мины, максимальную высоту H ее подъема, дальность l полета, скорость v падения мины на землю. Начало координат поместить на поверхности земли так, чтобы оно находилось на одной вертикали с минометом и чтобы вектор скорости лежал в плоскости XOY.

1.270. Мячик брошен с высоты $h = 5$ м над поверхностью земли с начальной скоростью $v_0 = 20$ м/с под углом $\alpha = 30°$ к горизонту (рис. 1.47). Найти модуль и направление его средней скорости за все время полета.

1.271. С вершины горы бросают камень под углом $\alpha = 30°$ к горизонту (рис. 1.48). Определить начальную скорость камня, если он упал на расстоянии $l = 20$ м от точки бросания. Угол наклона горы к горизонту тоже равен 30°.

1.272. Из миномета ведут стрельбу по объектам, расположенным на склоне горы. На каком расстоянии l от миномета будут падать мины, если их начальная скорость v_0, угол наклона горы α и угол стрельбы относительно горизонта β (рис. 1.49) ($\beta > \alpha$)?

1.273. Мотоциклист въезжает на высокий берег рва (рис. 1.50). Какую минимальную скорость должен иметь мотоциклист в момент отрыва от берега, чтобы перескочить ров? Величины, указанные на рисунке, считать известными.

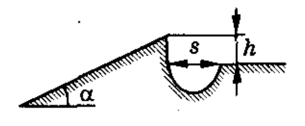


Рис. 1.50

1.274. Шарик свободно падает на наклонную плоскость с высоты $h = 2$ м и упруго отскакивает от нее. На каком расстоянии s от места падения он второй раз ударится о плоскость? Угол наклона плоскости к горизонту $\alpha = 30°$.

1.275. Мяч падает вертикально с высоты $h = 1$ м на наклонную доску. Расстояние между точками первого и второго удара мяча о доску $s = 4$ м. Удар абсолютно упругий. Определить угол наклона α доски к горизонту.

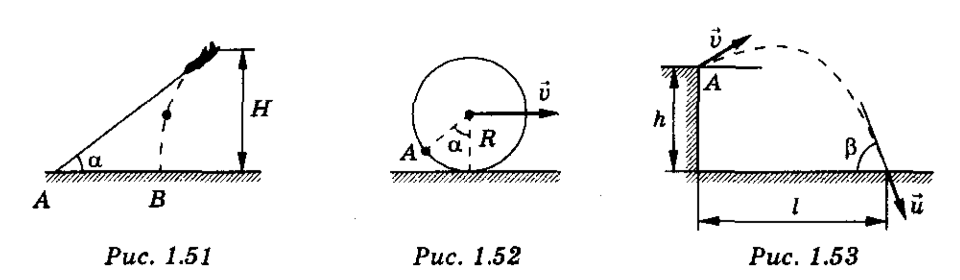


Рис. 1.51 Рис. 1.52 Рис. 1.53

1.276. Бомбардировщик пикирует на цель, двигаясь под углом α к горизонту (рис. 1.51). В момент отделения бомбы от самолета на высоте H скорость самолета равна v. Найти отклонение h точки попадания B от точки прицеливания A.

1.277. С колеса автомобиля, движущегося с постоянной скоростью v, слетают комки грязи. Радиус колеса R (рис. 1.52). На какую высоту h над дорогой будет отбрасываться грязь, оторвавшаяся от точки A колеса, указанной на рисунке? Изменится ли высота h, если колесо будет катиться с пробуксовкой?

1.278°. Из точки A, находящейся на вершине крутого обрыва на высоте h над горизонтом, бросают небольшой предмет в точку горизонтальной поверхности, находящуюся от обрыва на расстоянии l (рис. 1.53). Чему равна минимальная скорость броска v_0? Под каким углом α к горизонту должен при этом быть совершен бросок? Чему равен угол падения β на горизонтальную поверхность?

1.279. В трубу длины l, наклоненную под углом α к горизонту, влетает шарик с горизонтальной скоростью v (рис. 1.54). Определить время пребывания шарика в трубе, если удары об ее стенки упругие.

1.280. С какой скоростью v должен вылететь снаряд из пушки в момент старта ракеты, чтобы сбить ее? Ракета стартует вертикально с постоянным ускорением $a = 4$ м/с^2. Расстояние от пушки до места старта ракеты (они находятся на одном высотном уровне) $l = 9$ км. Пушка стреляет под углом $\alpha = 45°$ к горизонту.

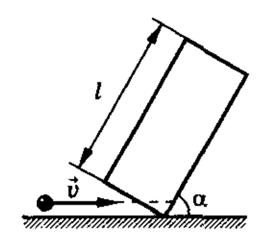


Рис. 1.54

1.281. Человек стреляет в вертикально подброшенный камень в тот момент, когда он находится в наивысшей точке подъема $h = 10$ м. Под каким углом к горизонту должен держать ружье человек, если он находится на расстоянии $s = 50$ м от места броска? Какой должна быть скорость пули, чтобы она попала в цель?

Механика

1.282. Модель планера летит горизонтально с постоянной скоростью u_0. В нее бросают камень со скоростью v так, что в момент броска скорость камня направлена на планер под углом α к горизонту. На какой высоте h летел планер, если камень попал в него?

1.283. Из пушки выпустили последовательно два снаряда со скоростью v_0 = 250 м/с: первый — под углом α_1 = 60° к горизонту, второй — под углом α_2 = 45° (азимут один и тот же). Найти интервал времени между выстрелами, при котором снаряды столкнутся друг с другом.

1.284. Один мальчик бросил вверх мяч с начальной скоростью v_1 = 5 м/с. Одновременно с ним второй мальчик, стоящий на расстоянии l = 5 м от первого, бросил камень со скоростью $v_2 = 2v_1$, стараясь попасть в мяч. Под каким углом к горизонту α должен бросить камень второй мальчик? В какой момент времени t произойдет столкновение?

1.285*. Два камня одновременно брошены из одной точки с равными скоростями v_0 = 10 м/с под углами α_1 = 30° и α_2 = 60° к горизонту, причем движение происходит во взаимно перпендикулярных плоскостях. Чему равен модуль скорости v второго камня относительно первого в любой момент движения?

1.286. На некоторой высоте одновременно из одной точки с одинаковыми скоростями v выбрасываются по всевозможным направлениям шарики. Что будет представлять собой геометрическое место точек нахождения шариков в любой момент времени?

1.287*. Лампочка висит на расстоянии h от потолка и на высоте H от пола. При ее разрыве осколки разлетаются во все стороны с одной и той же скоростью v. Найти радиус R круга на полу, в который попадут осколки. Считать, что удары осколков о потолок абсолютно упругие, а об пол — неупругие. До стен осколки не долетают.

1.288. Камень брошен с вышки с начальной скоростью, направленной горизонтально. Когда камень опустился по вертикали на h = 20 м, его скорость оказалась направленной под углом α = 45° к горизонту. Определить начальную скорость камня.

1.289. Мячик бросили с некоторой высоты h под углом α = 30° к горизонту. С какой начальной скоростью был произведен бросок, если мячик достиг максимальной высоты над поверхностью земли, равной $2h$, и упал на поверхность земли через время t_0 = 4 с после броска?

1.290°. Небольшое тело бросают с некоторой высоты над поверхностью земли вверх под углом $\alpha = 60°$ к горизонту с начальной скоростью $v_0 = 20$ м/с. За время полета вертикальная составляющая его скорости по величине увеличилась на $\eta = 20\%$. С какой высоты было брошено тело?

1.291°. Мяч бросают вверх вдоль наклонной плоскости под углом $\alpha_1 = 30°$ к горизонту. За время полета вертикальная составляющая его скорости по модулю стала меньше на $\eta_1 = 10\%$. Когда мяч бросили с прежнего места с той же начальной скоростью, но под другим углом, то вертикальная составляющая его скорости за время полета уменьшилась на $\eta_2 = 20\%$, а мяч пролетел расстояние, измеренное вдоль горизонтали, в $n = 1,5$ раза меньшее, чем в первом случае. Под каким углом к горизонту бросили мяч во второй раз? Считать, что в обоих случаях вершина траектории мяча находится над наклонной плоскостью.

1.292°. Два автомобиля движутся друг за другом вверх по склону с одинаковыми скоростями $v = 15$ м/с. Склон составляет угол $\alpha = 30°$ с горизонтом. Какой должна быть минимальная дистанция между автомобилями, чтобы комки грязи, вылетающие из протекторов колес первого автомобиля, не попадали на второй?

1.293. Какое расстояние по горизонтали пролетит мяч, брошенный со скоростью $v_0 = 10$ м/с под углом $\alpha = 60°$ к горизонту, если он ударяется о потолок? Высота потолка $h = 3$ м. Удар абсолютно упругий.

1.294*. *На поверхности земли на множество осколков разорвалась* небольшая сфера массой $m = 1$ кг. Осколки разлетелись во все стороны с одинаковыми по модулю скоростями $v = 10$ м/с. Какова масса осколков, упавших на поверхность земли вне круга радиуса $R = 5$ м с центром в точке взрыва?

Таблица 1

Формулы
$\langle\vec{v}\rangle = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$; $\Delta\vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0$; $\vec{r} = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j}$; $r = \sqrt{x^2 + y^2}$;
$\langle v\rangle = \frac{l}{t}$; $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{r}' = v_x\vec{i} + v_y\vec{j}$; $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$;
$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{v}' = a_x\vec{i} + a_y\vec{j}$;
$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$; $a_n = \frac{v^2}{R} = a\sin\alpha$;
$a_\tau = s'' = v' = a\cos\alpha$
Классический закон сложения скоростей
$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{v}'$
Прямолинейное равномерное движение
$a = 0$; $v = \lvert v_x\rvert = \text{const}$; $x = x_0 + v_x t$; $\Delta r_x = x - x_0 = v_x t$; $s = vt$
Прямолинейное равноускоренное движение
$a_x = a_\tau = \text{const}$; $v_x = v_{0x} + a_x t$; $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$;
$a_n = 0$; $v^2 - v_0^2 = 2as$
Движение по окружности
$\Delta\varphi = \frac{l}{R}$; $\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \varphi'$; $v = \omega R$; $a_n = \omega^2 R$; $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \omega'$; $a_\tau = \varepsilon R$
Равномерное движение по окружности
$\omega = \text{const}$; $\omega = 2\pi n$; $T = \frac{1}{n} = \frac{t}{N}$
Движение тела, брошенного под углом к горизонту
$a = g$; $\begin{cases} v_x = v_0\cos\alpha, \\ v_y = v_0\sin\alpha - gt; \end{cases}$
$\begin{cases} x = x_0 + v_0\cos\alpha \cdot t, \\ y = y_0 + v_0\sin\alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} \end{cases}$

Окончание таблицы 1

Обозначения		Единицы измерения
	$\vec{v}$ — средняя скорость $\vec{s}$; $\Delta\vec{r}$ — перемещение $\vec{r}$ — радиус-вектор; r — его модуль x, y, x_0, y_0 — координаты $\vec{i}$, $\vec{j}$ — орты осей x, y; Δt — время	1 м/с 1 м 1 с
	$\vec{v}$ — (мгновенная) скорость v — средняя (путевая) скорость l — путь; $\vec{a}$ — ускорение a_n — нормальное ускорение R — радиус кривизны траектории a_τ — тангенциальное ускорение	 1 м/с^2
	$\vec{v}'$ — скорость тела в подвижной системе отсчета $\vec{v}_0$ — скорость подвижной системы отсчета относительно неподвижной $\vec{v}$ — скорость тела в неподвижной системе отсчета	
	$\Delta\varphi$ — угол поворота ω — угловая скорость ε — угловое ускорение n — число оборотов в единицу времени (частота вращения) T — период вращения N — число оборотов	1 рад 1 рад/с 1 рад/с^2 об/с; с$^{-1}$ с
	g — ускорение свободного падения x_0, y_0 — начальные координаты v_0 — начальная скорость α — угол (1 рад = 57,3°) x, y — координаты тела в любой момент времени	9,81 м/с 1°, рад

2. Динамика

Масса, сила

2.1. В 1937 г. был открыт астероид Гермес диаметром около 1 км. Это один из самых маленьких астероидов. Какова масса этого космического тела, если принять, что его плотность равна плотности гранита?

2.2. Масса сплошного куба, сделанного из некоторого вещества, $m = 8$ кг. Какую массу будет иметь этот куб, если длину его ребра уменьшить в $n = 2$ раза?

2.3. Останкинская башня в Москве высотой 540 м имеет массу 55 000 т. Какую массу имела бы точная модель этой башни высотой 54 см?

2.4. Масса канистры, полностью заполненной бензином, $m_1 = 24$ кг. Масса канистры, полностью заполненной водой, $m_2 = 29$ кг. Какова масса пустой канистры?

2.5. Деревянная модель отливки имеет массу $m = 4$ кг. Какова масса латунной отливки, если плотность дерева $\rho = 500$ кг/м^3?

2.6. Золото можно расплющить до толщины 0,1 мкм. Поверхность какой площади можно покрыть листком золота, масса которого $m = 2{,}0$ г?

2.7. При одинаковых объемах кусок железа имеет массу на 12,75 кг большую, чем кусок алюминия. Определить массу кусков железа и алюминия.

2.8. Сплав золота и серебра имеет массу $m = 0{,}4$ кг, плотность $\rho = 14 \cdot 10^3$ кг/м^3. Определить процентное содержание и массу золота m_1 в сплаве, считая объем сплава равным сумме объемов его частей.

2.9. Какую массу будет иметь кубик с площадью поверхности 24 см^2, если плотность вещества, из которого он изготовлен, 8,7 г/см^3?

2.10. Имеется 8 одинаковых по виду шаров. Однако в одном из них есть внутри небольшая полость. Как при помощи рычажных весов можно определить шар с полостью, если весами можно воспользоваться не более двух раз?

2.11. Почему бегущий человек, споткнувшись, падает по направлению своего движения, а человек, поскользнувшись на льду, падает в направлении, противоположном направлению своего движения?

2.12. Почему перед взлетом или посадкой самолета каждый пассажир обязан пристегнуть себя ремнем безопасности?

2.13. Почему капли дождя слетают с одежды при ее встряхивании?

2.14. Почему нельзя перебегать улицу перед близко идущим транспортом?

2.15. Почему автомобиль с неисправными тормозами запрещается буксировать с помощью гибкого троса?

2.16. Мяч, лежавший на столе вагона, покатился вперед по направлению движения вагона. Как изменилось движение поезда?

2.17. При движении пассажиры автобуса отклонились вправо. Как изменилось движение автобуса?

2.18. По заявлению членов экипажа «Аполлон-12» Ч. Конрада и А. Бина, на Луне легко потерять равновесие и даже при легком наклоне вперед можно упасть. Объяснить это явление.

2.19. Сравнить массы лунохода на Земле и Луне и силы тяжести, действующие на него на Земле и Луне, если ускорение свободного падения на Луне $g_Л = 1{,}7$ м/с^2.

2.20. С какой силой килограммовая гиря действует на Землю?

2.21. Показать на рисунке вес и силу тяжести, действующую на тела: а) брусок, лежащий на горизонтальном столе; б) брусок, лежащий на наклонной плоскости; в) шар, подвешенный на нити; г) льдина, плавающая на поверхности воды.

2.22. Каков будет вес космонавта на Луне, если в земных условиях его вес в скафандре равен 700 Н? Ускорение свободного падения на Луне 1,7 м/с^2.

2.23. Пружинные весы прикреплены к потолку и к ним подвешен груз массой m =150 кг. Под грузом стоит человек на платформе десятичных весов, которые показывают вес человека P = 700 Н (рис. 2.1). Каковы будут показания весов, если человек с усилием F = 350 Н будет: а) стараться поднять груз; б) тянуть груз вниз?

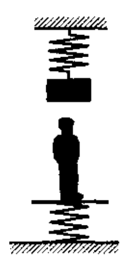


Рис. 2.1

2.24. Почему мяч, брошенный вертикально вверх, падает на Землю? Чему равен вес мяча во время полета, если пренебречь сопротивлением воздуха?

2.25. Почему спутник, движущийся по круговой орбите вокруг Земли, не падает на нее? Каков вес тел, находящихся внутри него?

2.26. Сравнить плотность воздуха в кабине космического корабля, который находится в состоянии невесомости и в момент старта.

2.27. Почему тела внутри космического корабля, летящего с выключенным двигателем, невесомы?

Рис. 2.2

2.28. Если межзвездный корабль будет двигаться в пространстве, где практически не будет сказываться притяжение к небесным телам, с ускорением 4,9 м/с^2, что покажут внутри корабля приборы, градуированные в земных условиях: а) пружинные весы при взвешивании груза массой m_1 = 6 кг; б) рычажные весы при взвешивании груза m_2 = 5 кг?

2.29. Почему в метро запрещается облокачиваться на движущиеся поручни эскалатора?

2.30. Может ли велосипедист двигаться равномерно по горизонтальному шоссе, не вращая педали?

2.31. Тележка движется по горизонтальной поверхности прямолинейно и равномерно (рис. 2.2, *а*); ускоренно (рис. 2.2, *б*); замедленно (рис. 2.2, *в*). Показать силы, действующие на груз, находящийся на тележке в каждом случае, если он неподвижен относительно нее. Какая сила приводит груз в движение в каждом случае и куда она направлена? Сопротивлением воздуха пренебречь.

2.32. Посередине гибкой доски, положенной на опоры, стоит мальчик (рис. 2.3). Масса мальчика 50 кг. С какой силой он действует на доску? С какой силой действует доска на мальчика? Изобразить эти силы на рисунке.

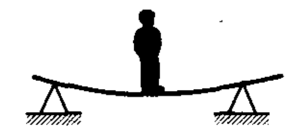


Рис. 2.3

2.33. Найти жесткость пружины, которая под действием силы, равной 5 Н, удлинилась на 10 см.

2.34. Длина недеформированной пружины l_0 = 20 см, ее жесткость k = 10 Н/м. Какой станет длина пружины, если ее растянуть с силой F = 1 Н?

Второй закон Ньютона

2.35. Согласны ли вы со следующими утверждениями:
1) если на тело не действует сила, то оно не движется;
2) если на тело перестала действовать сила, то оно останавливается;
3) тело обязательно движется туда, куда направлена сила;
4) если на тело действует сила, то скорость изменяется.

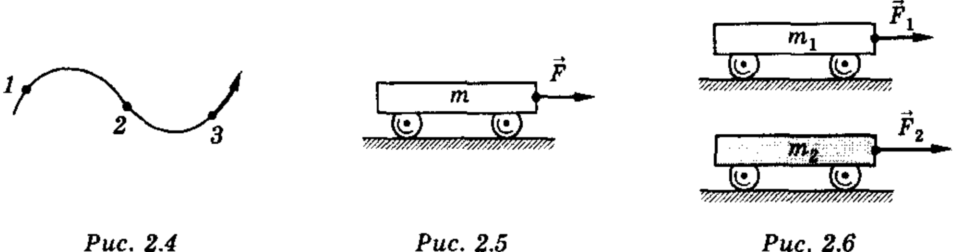


Рис. 2.4 Рис. 2.5 Рис. 2.6

2.36. Тело движется по криволинейной траектории (рис. 2.4). Определить направление скорости, возможные направления ускорения и равнодействующей всех сил, приложенных к телу в точках *1*, *2* (точка перегиба траектории) и *3*. Рассмотреть случаи равномерного; равноускоренного; равнозамедленного движения.

2.37. Вагонетку массой $m = 500$ кг тянут с силой $F = 50$ Н (рис. 2.5). Какое ускорение будет у вагонетки? Трением пренебречь.

2.38. Если тележку тянуть с силой $F_1 = 5$ Н (рис. 2.5), то ее ускорение будет $a_1 = 0{,}2$ м/с^2. С какой силой F_2 нужно действовать на эту тележку, чтобы ее ускорение было $a_2 = 2$ м/с^2? Трением пренебречь.

2.39. На тележку массой $m_1 = 0{,}5$ кг действует сила $F_1 = 15$ Н (рис. 2.6). С какой силой F_2 нужно действовать на тележку массой $m_2 = 1$ кг, чтобы у нее было такое же ускорение, как и у первой? Трением пренебречь.

2.40. *Снаряд массой $m = 2$ кг вылетает из ствола орудия в горизонтальном направлении* со скоростью $\upsilon = 1000$ м/с. Определить силу давления F пороховых газов, считая ее постоянной, если длина ствола $l = 3{,}5$ м.

2.41. Леонардо да Винчи высказал следующие положения. Если сила F продвинет тело массой m за время t на расстояние s, то та же сила продвинет:

1) тело массой $\frac{m}{2}$ за то же время на двойное расстояние;

2) тело массой $\frac{m}{2}$ на расстояние s за время $\frac{t}{2}$;

3) тело массой $2m$ на то же расстояние за время $2t$;

4) сила $\frac{F}{2}$ продвинет тело m на расстояние $\frac{s}{2}$ за время t;

5) сила $\frac{F}{2}$ продвинет тело $\frac{m}{2}$ на то же расстояние в то же время.

Какие из этих положений верны?

2.42. Какой станет скорость тела массой $m = 5$ кг, движущегося со скоростью $v_0 = 8$ м/с, если на расстоянии $l = 10$ м на тело будет действовать сила $F = 12$ Н?

Задачу решить для случаев:

1) направление перемещения совпадает с направлением силы;

2) направление перемещения противоположно направлению силы;

3) направление перемещения в любой момент времени перпендикулярно направлению силы.

Каков будет характер движения в каждом случае?

2.43. Тело массой m движется прямолинейно под действием постоянной силы F. В момент времени t_0 тело находится в точке x_0. Какую скорость v_0 должно иметь тело при $t = t_0$, чтобы в момент времени t попасть в точку x?

2.44. Скорость автомобиля изменяется по закону $v_x = 0{,}5t$. Найти результирующую силу, действующую на него, если его масса $m = 1$ т.

2.45*. Материальная точка массой $m = 2$ кг движется под действием некоторой силы F согласно закону: $x = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где $C = 1$ м/с^2, $D = -0{,}2$ м/с^3. Найти значение этой силы в моменты времени $t_1 = 2$ с и $t_2 = 5$ с. В какой момент времени сила равна нулю?

2.46. На тело действует единственная сила, причем график зависимости проекции скорости от времени $v_x(t)$ представлен на рисунке 2.7. Построить график зависимости проекции силы от времени $F_x(t)$ для данного движения тела. Масса тела $m = 0{,}5$ кг.

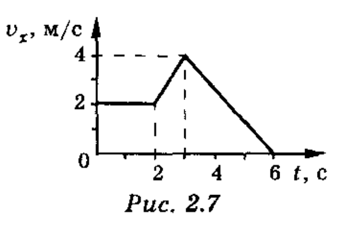


Рис. 2.7

2.47*. Зависимость от времени координат двух тел одинаковой массы $m = 5$ кг определяется уравнениями: $x_1 = B_1t - C_1t^2$ и $x_2 = B_2t^2 - C_2t^3$, где $B_1 = 40$ м/с, $C_1 = 4$ м/с^2, $B_2 = 12$ м/с^2, $C_2 = 1{,}6$ м/с^3. Найти для каждого тела время движения и путь, пройденный до остановки. Построить график зависимости сил от времени на данных отрезках пути.

2.48*. Тело, движущееся равномерно, начинает тормозить и останавливается. Тормозящая сила F_0 в момент остановки достигает значения 40 Н. Определить тормозящую силу F через $t = 3$ с после начала торможения, если тормозной путь в зависимости от времени описывается уравнением: $l = Ct - Bt^3$, где $C = 225$ м/с, $B = 3$ м/с^3.

2.49*. Радиус-вектор материальной точки массой $m = 10$ г изменяется со временем по закону: $\vec{r}_1 = 5t\vec{i} + (5t + 4t^2)\vec{j}$. Определить силу F, действующую на точку. Нарисовать траекторию движения точки и по-

казать на данном рисунке силу, действующую на точку в моменты времени $t_1 = 1$ с, $t_2 = 2$ с.

2.50. Частица массы m со скоростью v влетает в область действия тормозящей силы F под углом α к направлению этой силы и вылетает под углом β. Определить ширину l области действия тормозящей силы. Какой должна быть ширина области l_0, чтобы частица могла из нее вылететь?

2.51°. На тело, движущееся с постоянной скоростью v_0, начинает действовать некоторая постоянная сила F. Спустя промежуток времени Δt скорость уменьшилась в два раза. Спустя еще такой же интервал времени Δt скорость уменьшилась еще в два раза. Определить скорость тела v_k через интервал времени $3\Delta t$ с начала действия постоянной силы. Найти модуль силы F и угол α, который она составляет с направлением движения в начальный момент времени. Масса тела m.

Прямолинейное движение тела

2.52. На материальную точку, масса которой $m = 600$ г, действуют две силы: $F_1 = 2$ Н и $F_2 = 3$ Н. Найти угол α между этими силами, если под их действием материальная точка движется с ускорением $a = 8$ м/с^2? При каких условиях ее движение под действием этих сил будет прямолинейным?

2.53. Грузовик взял на буксир легковой автомобиль массой $m = 2$ т и, двигаясь равноускоренно, за $t = 50$ с проехал $s = 400$ м. На сколько при этом удлиняется трос, соединяющий автомобили, если его жесткость $k = 2 \cdot 10^6$ Н/м? Трение не учитывать.

2.54. На нити, выдерживающей натяжение $F = 20$ Н, поднимают груз массой $m = 1$ кг из состояния покоя вертикально вверх. Считая движение равноускоренным, найти предельную высоту h, на которую можно поднять груз за $t = 1$ с так, чтобы нить не оборвалась.

2.55. Веревка выдерживает груз массой $m_1 = 110$ кг при вертикальном подъеме его с некоторым ускорением и груз массой $m_2 = 690$ кг при опускании его с таким же по модулю ускорением. Какова максимальная масса груза m, который можно поднимать (опускать) на этой веревке с постоянной скоростью?

2.56. Груз массой $m = 1$ кг подвешен к пружине жесткостью $k = 98$ Н/м (рис. 2.8). Длина пружины в нерастянутом состоянии $l_0 = 0{,}2$ м. Найти длину пружины l_1, когда на ней висит груз. Какой будет длина пружины, если пружина с грузом будет находиться в лифте, движущемся с ускорением $a = 4{,}9$ м/с^2, направленным: а) вверх; б) вниз?



Рис. 2.8

2.57. Вертикально стартующая ракета развивает силу тяги F в течение времени t, затем двигатель отключается. Через какое время t_1 после старта ракета вернется на Землю? Масса ракеты m, изменением ее пренебречь. Сопротивлением воздуха и изменением ускорения свободного падения с высотой пренебречь. Проиллюстрировать решение задачи графиками зависимости от времени ускорения, скорости, координаты и пути ракеты. Начало координат — место старта ракеты.

2.58. Груз массой m поднимается при помощи троса вертикально вверх. В течение первых t с равноускоренного движения груз поднят на высоту h. Определить удлинение Δl троса, если его коэффициент упругости k. Деформацию считать упругой. Массу троса, сопротивление среды не учитывать. Считать, что $h >> l$, где l — длина троса.

2.59. Груз массой m лежит на полу лифта. Чему равна сила давления на пол, если: а) лифт поднимается с ускорением a; б) лифт опускается с ускорением a; в) лифт опускается и поднимается равномерно?

2.60. Чему равен вес летчика-космонавта массой $m = 80$ кг при старте ракеты с поверхности Земли вертикально вверх с ускорением $a = 15$ м/с^2?

2.61. Человеческий организм сравнительно долго может переносить четырехкратное увеличение своего веса. Какое максимальное ускорение можно придать космическому кораблю при старте с поверхности Земли, чтобы не превысить этой нагрузки на организм космонавтов? Старт космического корабля считать вертикальным.

2.62. Герои романа Жюля Верна «Из пушки на Луну» летели в снаряде. Пушка имела длину ствола $l = 300$ м. Учитывая, что для полета на Луну снаряд при вылете из ствола должен иметь скорость не менее $v = 11{,}1$ км/с, подсчитать, во сколько раз возрастал вес пассажиров внутри ствола, считая движение равноускоренным.

2.63. Четырьмя натянутыми нитями груз закреплен на тележке. Силы натяжения горизонтальных нитей соответственно T_1 и T_2, а вертикальных T_3 и T_4 (рис. 2.9). С каким ускорением движется тележка по горизонтальной плоскости?

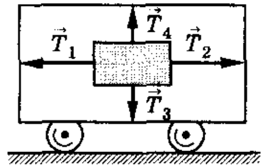


Рис. 2.9

2.64. Под действием какой горизонтальной силы F вагонетка, масса которой $m = 350$ кг, движется по горизонтальным рельсам с ускорением $a = 0{,}15$ м/с^2, если сила сопротивления движению $F_c = 12$ Н?

2.65. Тело массой $m = 5$ кг движется по горизонтальной поверхности под действием горизонтально направленной силы $F = 100$ Н. Опреде-

лить ускорение тела, если известно, что коэффициент трения между телом и поверхностью $\mu = 0{,}2$.

2.66. На тело массой $m = 1$ кг, лежащее на горизонтальной поверхности, начинает действовать сила F (рис. 2.10). Коэффициент трения между телом и поверхностью $\mu = 0{,}2$. Определить ускорение тела, если модуль силы F равен: а) 0,5 Н; б) 2 Н; в) 2,5 Н. Построить график зависимости силы трения $F_{тр}$ от силы F. Считать $g = 10$ м/с^2.

2.67. На тело массой $m = 1$ кг начинает действовать горизонтальная сила, модуль которой линейно зависит от времени: $F = Ct$, где $C = 0{,}49$ Н/с. Построить график зависимости модуля силы трения от времени, если коэффициент трения $\mu = 0{,}2$. Определить момент времени, когда тело сдвинется с места.

2.68. Тело движется по горизонтальной плоскости под действием силы F, направленной под углом α к горизонту (рис. 2.11). Найти ускорение тела, если его масса m, а коэффициент трения между телом и плоскостью μ. При каком значении силы F_1 движение будет равномерным?

2.69. Если к телу приложить силу $F = 120$ Н под углом $\alpha = 60°$ к горизонту, то тело будет двигаться равномерно. С каким ускорением будет двигаться тело, если ту же силу приложить под углом $\beta = 30°$ к горизонту? Масса тела $m = 25$ кг.

2.70. С какой наименьшей силой нужно толкать перед собой тележку, масса которой $m = 12$ кг, для того чтобы сдвинуть ее с места? Сила направлена вдоль ручки тележки и составляет с горизонтом угол $\alpha = 30°$ (рис. 2.12), а коэффициент трения между полом и тележкой $\mu = 0{,}4$?

2.71. Брусок, приводимый в движение нитью AB, движется по горизонтальной плоскости (рис. 2.13). Масса бруска m, угол наклона нити α, ускорение точки B — a, коэффициент трения между бруском и плоскостью μ. Найти натяжение нити T и силу давления N бруска на плоскость.

2.72. На тело массой $m = 0{,}1$ кг, лежащее на горизонтальном столе в момент времени $t = 0$, начала действовать сила $F = bt$ (где $b = 1$ Н/с), направленная под углом $\alpha = 30°$ к горизонту (см. рис. 2.11). Найти зависимость ускорения тела от времени, если коэффициент трения между поверхностями тела и стола $\mu = 0{,}1$. Через какой промежуток времени от

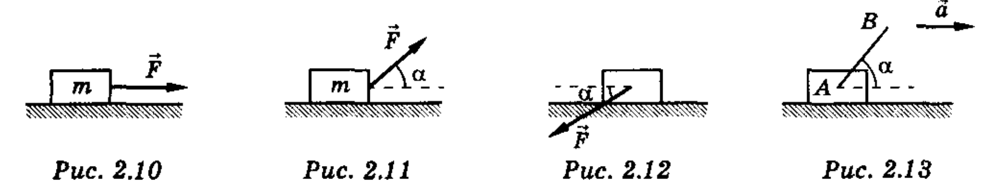
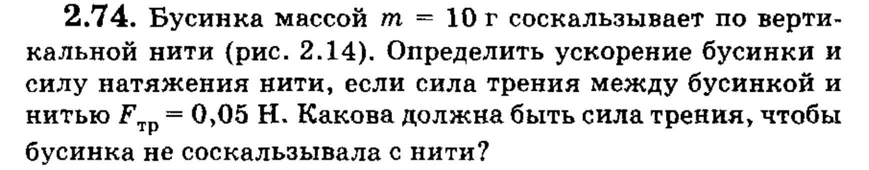


Рис. 2.10 Рис. 2.11 Рис. 2.12 Рис. 2.13

начала действия силы тело оторвется от поверхности стола? Чему равно ускорение тела в момент отрыва?

2.73*. Каковы должны быть модуль и направление (α) минимальной силы F, приложенной к бруску, лежащему на горизонтальном столе, чтобы сдвинуть его с места (см. рис. 2.11)? Масса бруска $m = 1$ кг, коэффициент трения между столом и бруском $\mu = \dfrac{1}{\sqrt{3}}$.



2.74. Бусинка массой $m = 10$ г соскальзывает по вертикальной нити (рис. 2.14). Определить ускорение бусинки и силу натяжения нити, если сила трения между бусинкой и нитью $F_{тр} = 0{,}05$ Н. Какова должна быть сила трения, чтобы бусинка не соскальзывала с нити?

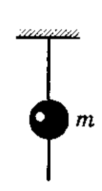


Рис. 2.14

2.75. Брусок массой $m = 2$ кг зажат между двумя вертикальными плоскостями с силой $F = 10$ Н. Найти ускорение бруска и силу трения между бруском и плоскостью при его проскальзывании. Какую минимальную вертикальную силу F_{min} нужно приложить к бруску, чтобы его: а) удержать от проскальзывания; б) поднимать вверх? Коэффициент трения $\mu = 0{,}5$.

2.76. Через неподвижное, горизонтально расположенное на некоторой высоте бревно переброшена веревка. Чтобы удержать груз массой $m = 6$ кг, подвешенный на одном конце веревки, необходимо тянуть второй конец веревки с минимальной силой $T_1 = 40$ Н. Определить минимальную силу T_2, с которой необходимо тянуть веревку, чтобы груз начал подниматься.

2.77. Магнит A массой $m = 5$ кг притягивается к стенке с силой $F_1 = 5$ Н. Если к магниту приложить еще силу $F_2 = 20$ Н (рис. 2.15), составляющую угол $\alpha = 30°$ со стенкой, то куда и с каким ускорением будет двигаться магнит? Коэффициент трения между стенкой и магнитом $\mu = 0{,}2$. При каких значениях μ магнит не будет двигаться?

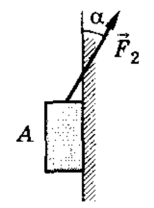
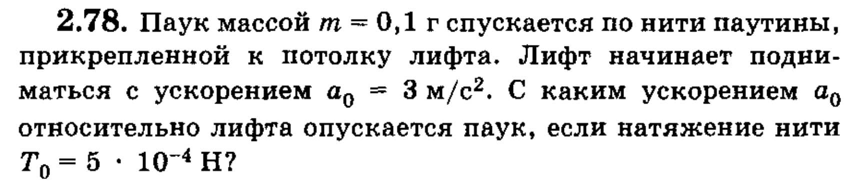
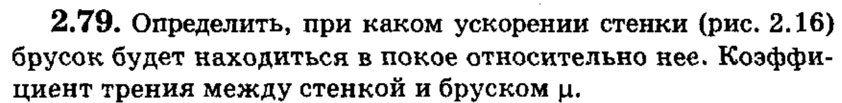


Рис. 2.15



2.78. Паук массой $m = 0{,}1$ г спускается по нити паутины, прикрепленной к потолку лифта. Лифт начинает подниматься с ускорением $a_0 = 3$ м/с^2. С каким ускорением a_0 относительно лифта опускается паук, если натяжение нити $T_0 = 5 \cdot 10^{-4}$ Н?



2.79. Определить, при каком ускорении стенки (рис. 2.16) брусок будет находиться в покое относительно нее. Коэффициент трения между стенкой и бруском μ.

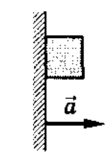


Рис. 2.16

2.80. Тело массой $m = 0{,}4$ кг бросают вертикально вверх с начальной скоростью $v = 30$ м/с. Через время $t = 2{,}5$ с тело достигает высшей точки подъема. Определить среднее значение силы сопротивления воздуха, считая движение равнозамедленным.

2.81. Тело массой $m = 1$ кг, брошенное под углом к горизонту, имеет в верхней точке траектории полное ускорение $a = 12$ м/с^2. Определить силу сопротивления среды в этой точке.

2.82. Парашютист массой $m_1 = 80$ кг спускается на парашюте с установившейся скоростью $v_1 = 5$ м/с. Какой будет установившаяся скорость, если на том же парашюте будет спускаться мальчик массой $m_2 = 40$ кг? Считать, что сила сопротивления воздуха пропорциональна квадрату скорости.

2.83. Масса воздушного шара вместе с канатом, волочащимся по земле, m; выталкивающая сила, действующая на шар, равна F_0; коэффициент трения каната о землю равен μ. Сила сопротивления воздуха, действующая на шар, пропорциональна квадрату скорости: $F = \alpha v^2$. Найти скорость v шара относительно земли, если дует горизонтальный ветер со скоростью u.

2.84. Коэффициент трения между колесами велосипеда и дорогой $\mu = 0{,}1$. При этом наибольшая скорость велосипедиста $v = 10$ м/с. Сила сопротивления воздуха, действующая на велосипедиста, пропорциональна квадрату его скорости $F = \alpha v^2$. Оценить величину коэффициента пропорциональности α. Масса велосипедиста вместе с велосипедом $m = 100$ кг.

2.85. Тело массой m движется под действием силы F из состояния покоя по прямой, направленной под углом α к горизонту. Какое расстояние пройдет тело за время движения t?

2.86. Бусинка скользит по гладкому стержню, составляющему угол $\alpha = 30°$ с вертикалью. Чему равно ускорение бусинки?

2.87. Одно тело свободно падает с высоты h, другое — скользит по наклонной плоскости, имеющей угол наклона α (рис. 2.17). Сравнить скорости тел у основания наклонной плоскости v_1 и v_2 и время их движения t_1 и t_2.

2.88. У бруска одна сторона гладкая, а другая шероховатая. Если его положить на наклонную плоскость шероховатой стороной, он будет лежать на грани соскальзывания. С каким ускорением брусок будет соскальзывать, если его перевернуть? Коэффициент трения между шероховатой стороной бруска и наклонной плоскостью $\mu = 0{,}2$.

Рис. 2.17

Рис. 2.18

Рис. 2.19

2.89. Небольшое тело пускают снизу вверх по наклонной плоскости, составляющей угол α с горизонтом. Коэффициент трения тела о плоскость μ. Определить отношение времени подъема тела t_1 ко времени его соскальзывания t_2 до первоначальной точки.

2.90. Брусок лежит на доске. Если поднимать один конец доски, то при угле наклона $\alpha = 30°$ брусок начинает двигаться. За какое время он соскользнет с доски длиной $l = 1$ м, если она образует с горизонтом угол $\beta = 45°$?

2.91°. На горизонтальной доске лежит брусок массой m. Один из концов доски медленно поднимают. Нарисовать график зависимости силы трения, действующей на брусок, от угла наклона доски к горизонту. Коэффициент трения между доской и бруском μ.

2.92°. Определить ускорение цилиндра, скользящего по желобу, имеющему вид двугранного угла с раствором α. Ребро двугранного угла наклонено под углом β к горизонту. Плоскости двугранного угла образуют одинаковые углы с горизонтом. Коэффициент трения между цилиндром и поверхностью желоба μ. Ось цилиндра параллельна ребру.

2.93. Определить силу, действующую на вертикальную стенку со стороны клина, если на него положили груз массой m (рис. 2.18). Угол при основании клина α. Коэффициент трения между грузом и поверхностью клина μ. Трения между клином и полом нет.

2.94. Крыша дома наклонена под углом $\alpha = 30°$ к горизонту. Каким должен быть коэффициент трения между подошвами ботинок трубочиста и поверхностью крыши, чтобы он смог пройти вверх по крыше?

2.95. Чему должен быть равен минимальный коэффициент трения μ между шинами и поверхностью дороги с уклоном $\alpha = 30°$, чтобы автомобиль мог двигаться по ней вверх с ускорением $a = 0{,}5$ м/с^2?

2.96. Какую горизонтальную силу F необходимо приложить к бруску (рис. 2.19), чтобы он равномерно перемещался вниз по наклонной плоскости? Масса бруска $m = 2$ кг, коэффициент трения между бруском и поверхностью плоскости $\mu = 0{,}2$; плоскость образует угол $\alpha = 45°$ с горизонтом.

2.97. На наклонную плоскость, образующую угол $\alpha = 30°$ с горизонтом, положили груз массой $m = 1$ кг. Коэффициент трения груза о плоскость $\mu = 0{,}1$. Какую горизонтальную силу F (см. рис. 2. 19) необходимо приложить к бруску, чтобы он равномерно перемещался вверх по наклонной плоскости?

2.98. Деревянный брусок находится на наклонной плоскости. С какой наименьшей силой, направленной перпендикулярно поверхности, нужно прижать брусок, чтобы он остался на ней в покое? Масса бруска $m = 0{,}2$ кг, длина наклонной плоскости $l = 1$ м, высота $h = 0{,}5$ м, коэффициент трения бруска о плоскость $\mu = 0{,}4$.

2.99*. На наклонной плоскости лежит брусок. К бруску приложена сила F, равная удвоенной силе тяжести бруска mg и направленная вдоль наклонной плоскости (рис. 2.20). Коэффициент трения между бруском и наклонной плоскостью $\mu = 1$. При каком угле наклона плоскости α ускорение бруска будет минимальным? Найти это ускорение.

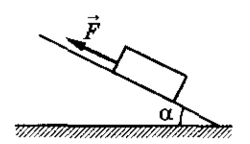


Рис. 2.20

2.100*. Брусок массой m равномерно втаскивают за нить вверх по наклонной плоскости, составляющей угол α с горизонтом. Коэффициент трения μ. Найти угол β, который должна составлять нить с наклонной плоскостью, чтобы сила натяжения нити T была наименьшей. Чему она равна?

2.101°. По гладкой наклонной плоскости, движущейся с ускорением a, скользит брусок (рис. 2.21). Найти ускорение бруска относительно плоскости. Каким должно быть ускорение, чтобы брусок не скользил по плоскости? Угол наклонной плоскости с горизонтом равен α.

2.102. На гладкой наклонной плоскости, движущейся вправо с ускорением a, лежит брусок массой m (рис. 2.22). Найти натяжение нити и силу давления бруска на плоскость. При каком ускорении плоскости брусок не будет давить на плоскость?

2.103°. Наклонная плоскость с углом наклона α движется с ускорением в сторону, указанную стрелкой на рисунке 2.23. Начиная с какого значения ускорения a тело, лежащее на наклонной плоскости, начнет подниматься? Коэффициент трения между телом и наклонной плоскостью μ.

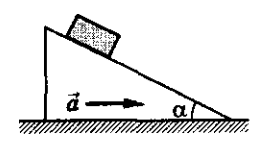


Рис. 2.21

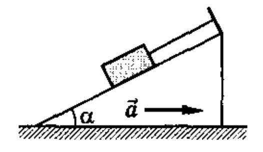


Рис. 2.22

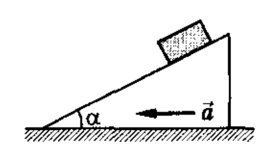


Рис. 2.23

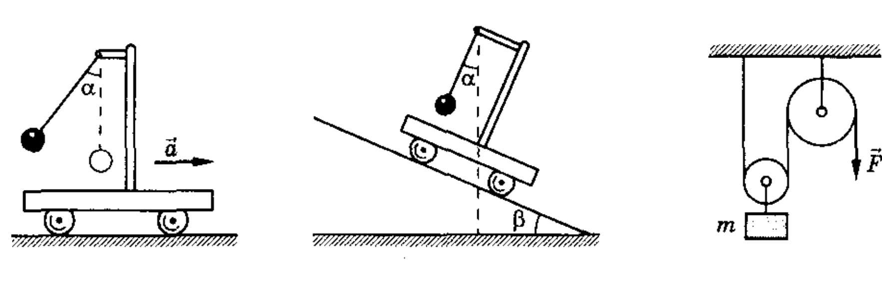


Рис. 2.24 Рис. 2.25 Рис. 2.26

2.104. На тележке укреплен отвес — шарик массой m. На какой угол α от вертикали отклонится нить отвеса, если тележка будет двигаться с ускорением a (рис. 2.24)? Какова будет сила натяжения нити?

2.105. Легкая тележка может скатываться без трения с наклонной плоскости. На тележке укреплен отвес — шарик массой m на нити. На какой угол α от вертикали отклонится нить отвеса (рис. 2.25) при скатывании тележки? Угол наклона плоскости к горизонту равен β.

2.106. К оси подвижного блока прикреплен груз массой m. С какой силой F нужно тянуть конец нити, перекинутой через неподвижный блок (рис. 2.26), чтобы груз двигался вверх с ускорением a? Массой блоков и нити пренебречь.

Прямолинейное движение системы тел

2.107. Два мальчика тянут пружину динамометра в противоположные стороны с силой 100 Н каждый. Что покажет динамометр?

2.108. Два тела массами m_1 и m_2 связаны нитью и лежат на гладком столе. Найти натяжение нити T, если сила F, направленная вдоль нити и параллельная столу, приложена к телу: а) массой m_1; б) массой m_2.

2.109. На столе лежат два шарика, соединенные пружиной. Массы шариков m_1 и m_2. Жесткость пружины k. На шарик массой m_1 действует постоянная сила F, направленная к шарику массой m_2 (вдоль пружины). Трения нет. Колебания отсутствуют. На какую величину x сжата пружина?

2.110. На гладком столе лежат два связанных нитью груза (рис. 2.27). Масса левого груза $m_1 = 200$ г, масса правого $m_2 = 300$ г. К правому грузу приложена сила $F_2 = 0{,}1$ Н, к левому в противоположном направлении — сила $F_1 = 0{,}6$ Н. С каким ускорением движутся грузы и какова сила натяжения соединяющей их нити?

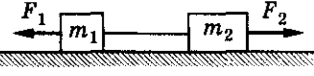


Рис. 2.27

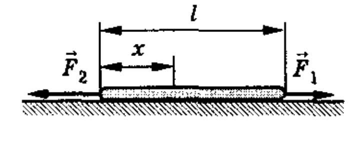


Рис. 2.28

2.111. Два тела массами m_1 и m_2 связаны нитью, выдерживающей силу натяжения T_0. К телам приложены силы $F_1 = \alpha t$ и $F_2 = 2\alpha t$, где α — постоянный коэффициент, t — время действия силы (см. рис. 2.27). В какой момент времени нить порвется? Трением пренебречь.

2.112. К стержню длинной l приложены силы F_1 и F_2, как показано на рисунке 2.28. Найти силу натяжения стержня в сечении, находящемся на расстоянии x от его левого конца ($F_2 > F_1$).

2.113. Два бруска, связанные нерастяжимой нитью, находятся на горизонтальной плоскости. К ним приложены силы F_1 и F_2 (рис. 2.29), составляющие с горизонтом углы α и β. Найти ускорение системы и силу натяжения нити. Коэффициенты трения брусков о плоскость одинаковы и равны μ. Силы F_1 и F_2 меньше силы тяжести брусков. Система движется влево.

2.114. При каком минимальном значении силы F и какая из нерастяжимых нитей, связывающих грузы (рис. 2.30), разорвется, если она выдерживает предельную нагрузку F_0 = 100 Н? Массы грузов m, $2m$, $3m$. Трением пренебречь.

2.115. К телу массой M = 10 кг подвешено на веревке тело массой m = 5 кг. Масса веревки $m_в$ = 2 кг. Вся система движется ускоренно вверх под действием силы F = 300 Н, приложенной к верхнему телу (рис. 2.31). Найти натяжение веревки в ее центре T_1 и в точках крепления тел T_M и T_m.

2.116. Маляр массой m = 72 кг работает в подвесном кресле. Ему понадобилось срочно подняться вверх. Он начинает тянуть веревку с такой силой, что сила давления на кресло уменьшается до F = 400 Н. Масса кресла m = 12 кг. Чему равно ускорение маляра? Чему равна нагрузка на блок?

2.117. Через легкий неподвижный блок перекинута невесомая нерастяжимая нить с двумя грузами на концах, массы которых m_1 и m_2

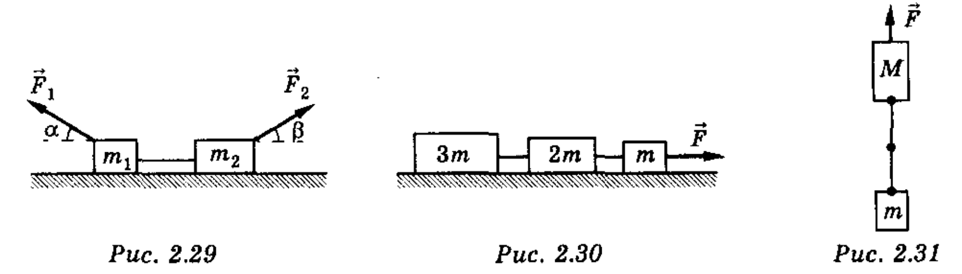


Рис. 2.29 Рис. 2.30 Рис. 2.31

($m_1 > m_2$). Система приходит в движение, причем нить не проскальзывает относительно блока. Определить ускорение грузов, силу натяжения нити и силу давления на ось блока.

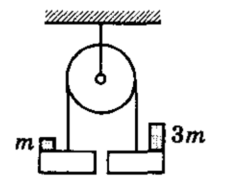


Рис. 2.32

2.118. Через блок перекинута нить, на концах которой висят два груза с одинаковыми массами M. Одновременно на каждый из грузов кладут по перегрузку: справа — массой $3m$, слева — m (рис. 2.32). Определить ускорение системы, силу натяжения нити и силу давления перегрузков на основные грузы.

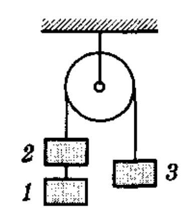


Рис. 2.33

2.119. Через неподвижный блок перекинута нить, к которой подвешены три одинаковых груза массой $m = 5$ кг каждый (рис. 2.33). Найти ускорение системы и силу натяжения нити между грузами *1* и *2*. Какой путь s пройдут грузы за первые $t = 4$ с движения? Трением пренебречь.

2.120. Определить ускорение грузов и силы натяжения всех нитей в системе, изображенной на рисунке 2.34. Масса каждого груза m, массой блока пренебречь.

2.121. Два груза массами $m_1 = 100$ г и $m_2 = 50$ г соединены нерастяжимой нитью, перекинутой через невесомый блок (рис. 2.35). Грузы прижимаются друг к другу с постоянными силами $F = 1$ Н. Коэффициент трения между ними $\mu = 0{,}1$. Найти ускорение, с которым движутся грузы.

2.122. Невесомая нить, перекинутая через неподвижный блок, пропущена через щель (рис. 2.36). При движении нити на нее действует постоянная сила трения F. На концах нити подвешены грузы, массы которых m_1 и m_2. Определить ускорение грузов.

2.123. Через невесомый блок перекинута легкая нерастяжимая нить, к одному концу которой привязан груз массой $m_1 = 100$ г, а по другому скользит кольцо массой $m_2 = 250$ г (рис. 2.37). С каким ускорением движется кольцо, если груз m_1 неподвижен?

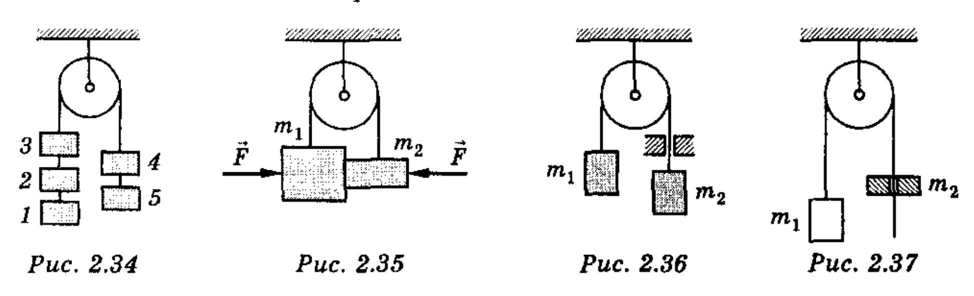


Рис. 2.34 Рис. 2.35 Рис. 2.36 Рис. 2.37

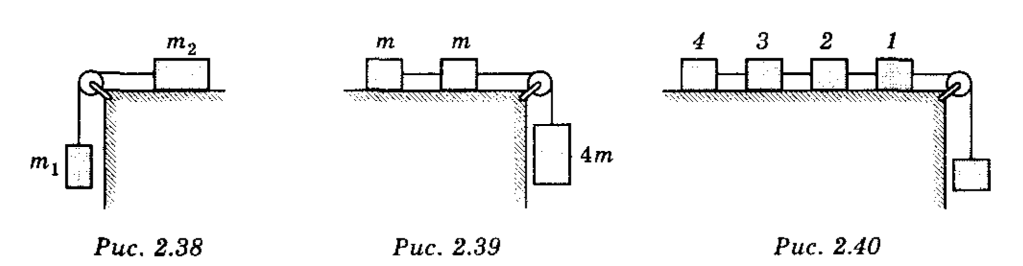


Рис. 2.38 Рис. 2.39 Рис. 2.40

2.124. Два груза массами m_1 и m_2 соединены легкой нерастяжимой нитью (рис. 2.38). Коэффициент трения между грузом и столом μ. Определить условие, при соблюдении которого грузы будут двигаться, найти ускорение грузов и силу натяжения нити при движении системы.

2.125. Три груза массами m, m и $4m$, где $m = 5$ кг, соединены невесомыми нерастяжимыми нитями, как показано на рисунке 2.39. Коэффициент трения между грузами и горизонтальной поверхностью $\mu = 0{,}3$. Определить силы натяжения нитей. Блок невесом, трения в оси блока нет.

2.126. Четыре бруска одинаковой массы m связаны нитями и соединены с грузом такой же массы нитью, перекинутой через блок (рис. 2.40). Блок невесомый. Коэффициент трения между брусками и столом μ. Найти: ускорение грузов; силы натяжения всех нитей; значения μ, при которых грузы находятся в покое.

2.127. На абсолютно гладком горизонтальном столе лежат n одинаковых грузов массой m каждый, связанных последовательно нитями. Такой же $(n + 1)$-й груз с помощью перекинутой через невесомый блок нити свешивается вниз. Определить натяжение нити между любым k-м и $(k + 1)$-м грузами. Определить силу давления на ось блока.

2.128. Через блок, укрепленный на краю гладкого горизонтального стола, перекинута веревка, соединяющая два груза массами m и M, как показано на рисунке 2.41. Стол движется вверх с ускорением a. Найти ускорения грузов. Трением и массой блока пренебречь.

2.129. Однородная цепочка длиной l свешивается со стола и удерживается в равновесии силой трения. Найти коэффициент трения, если известно, что наибольшая длина свисающего со стола конца, при которой цепочка еще не скользит, равна x.

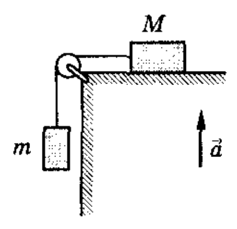


Рис. 2.41

2.130°. Два груза соединены весомой нерастяжимой однородной нитью длиной l так, как показано на рисунке 2.42. Массы грузов $m_1 = m$, $m_2 = 2/3m$, нити

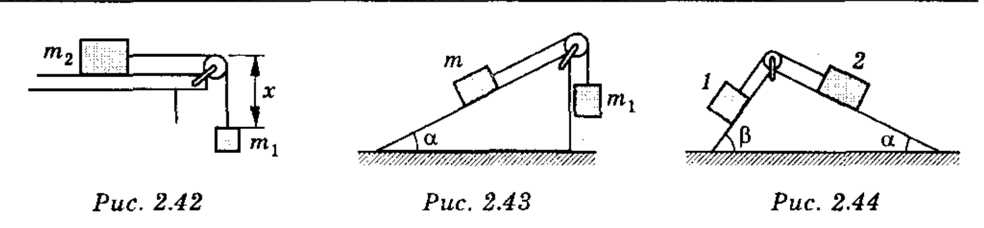


Рис. 2.42 Рис. 2.43 Рис. 2.44

$m_3 = 1/3m$. При какой длине вертикального отрезка нити x силы, действующие на грузы со стороны нити, окажутся равными? Чему равны эти силы? Каково ускорение системы в этом случае? Трения в системе нет.

2.131. На наклонной плоскости с углом наклона α лежит брусок массой m. Груз массой m_1 присоединен к бруску при помощи нити, перекинутой через блок (рис. 2.43). Определить натяжение нити, если коэффициент трения бруска о плоскость μ. Массой блока и нити пренебречь. При каких значениях μ система будет находиться в равновесии? Какой будет сила давления на ось блока?

2.132. 1) Найти ускорение, с которым движутся грузы (рис. 2.44) и силу натяжения нити. Каким должно быть отношение масс грузов, чтобы они находились в равновесии? Масса грузов одинакова $m_1 = m_2 = 1$ кг, угол $\alpha = 30°$, угол $\beta = 45°$. Трения в системе нет. 2) Решить задачу при условии, что коэффициент трения грузов *1* и *2* о наклонные плоскости $\mu = 0{,}1$.

2.133. По наклонной плоскости тянут вверх с ускорением a однородный трос длиной l и массой m (рис. 2.45). Коэффициент трения между тросом и плоскостью μ. Наклонная плоскость составляет с горизонтом угол α. Найти силу натяжения троса F в сечении, находящемся на расстоянии x от его верхнего конца.

2.134. С каким ускорением будут двигаться по наклонной плоскости два тела массами $m_1 = 1$ кг и $m_2 = 2$ кг, соединенные друг с другом жестким легким стержнем (рис. 2.46)? Коэффициенты трения между телами и поверхностью плоскости $\mu_1 = 0{,}2$ и $\mu_2 = 0{,}1$ соответственно. Угол наклона плоскости к горизонту $\alpha = 30°$. Как изменится ответ, если стержень заменить нитью?

2.135. Два соприкасающихся бруска скользят по наклонной доске (рис. 2.47). Масса первого бруска $m_1 = 2$ кг, второго $m_2 = 3$ кг. Коэффи-

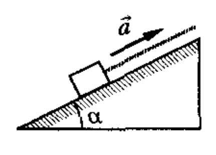


Рис. 2.45

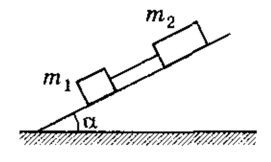


Рис. 2.46

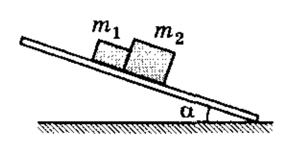


Рис. 2.47

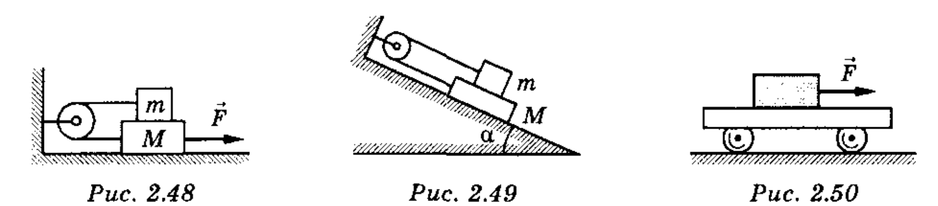


Рис. 2.48 Рис. 2.49 Рис. 2.50

циент трения между первым бруском и доской $\mu_1 = 0{,}1$, между вторым и доской $\mu_2 = 0{,}3$. Угол наклона доски $\alpha = 45°$. Определить ускорение, с которым движутся бруски, и силу, с которой бруски давят друг на друга. Что происходило бы при $\mu_1 > \mu_2$?

2.136. В системе, изображенной на рисунке 2.48, массы брусков $M = 2$ кг, $m = 1$ кг. Какую силу нужно приложить к нижнему бруску, чтобы он двигался с постоянным ускорением $a = g/2$? Коэффициент трения между брусками $\mu_1 = 0{,}5$; между столом и нижним бруском $\mu_2 = 0{,}2$.

2.137. На наклонной плоскости с углом при основании α находится доска массой M и на ней брусок массой m ($M > m$) (рис. 2.49). Коэффициент трения между доской и плоскостью μ, между доской и бруском 2μ. Определить ускорение этих тел. При каком отношении масс тела будут находиться в равновесии?

2.138. Тележка массой $M = 20$ кг может катиться по гладкой горизонтальной поверхности. На тележке лежит брусок массой $m = 2$ кг (рис. 2.50). Коэффициент трения между бруском и тележкой $\mu = 0{,}25$. К бруску приложена сила: а) $F = 1{,}96$ Н; б) $F = 19{,}4$ Н. Найти силу трения между бруском и тележкой и ускорения бруска и тележки в обоих случаях.

2.139. Брусок массой M, на котором лежит тело массой m, находится на горизонтальной плоскости (рис. 2.51). Коэффициенты трения между телом и бруском и между бруском и плоскостью одинаковы и равны μ. Исследовать движение при различных значениях силы F, приложенной к бруску в горизонтальном направлении.

2.140. Санки массой $M = 2$ кг тянут за веревку с силой $F = 32{,}56$ Н, направленной горизонтально (рис. 2.52). На санках сидит ребенок массой $m = 20$ кг. Коэффициент трения полозьев о снег $\mu = 0{,}1$. Найти силу трения $F_{тр}$, действующую на ребенка.



Рис. 2.51 Рис. 2.52

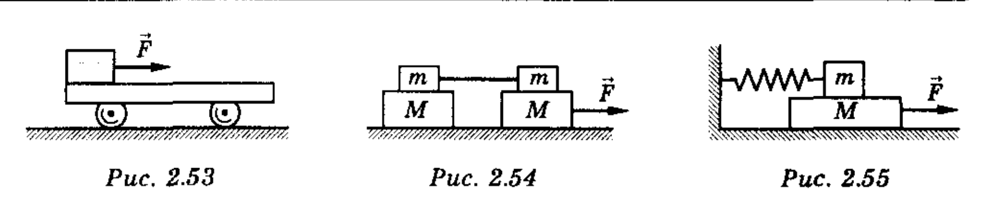


Рис. 2.53 Рис. 2.54 Рис. 2.55

2.141. Тележка массой M может без трения катиться по горизонтальной поверхности. У заднего края тележки лежит брусок массой m (рис. 2.53). Коэффициент трения между бруском и тележкой μ. К бруску приложена горизонтальная сила F, достаточная для того, чтобы брусок начал двигаться относительно тележки. Через какое время брусок упадет с тележки, если ее длина l? При какой минимальной силе F_0 брусок начнет скользить?

2.142. На гладком столе расположена система грузов, изображенная на рисунке 2.54. Коэффициент трения между грузами m и M равен μ. Правый нижний груз тянут с силой F. Найти ускорения грузов системы. Рассмотреть все возможные случаи.

2.143. На гладком горизонтальном столе лежит доска массой $M = 6$ кг, на ней брусок, связанный со стенкой пружиной жесткостью $k = 1000$ Н/м (рис. 2.55). Коэффициент трения между доской и бруском $\mu = 0{,}2$. Какое расстояние x проедет доска после того, как на нее начнет действовать горизонтальная сила $F = 10$ Н, тянущая ее от стенки, прежде чем брусок начнет соскальзывать с доски? Масса бруска $m = 2$ кг.

2.144°. На наклонной плоскости с углом при основании α лежит доска массой m_1, на доске лежит брусок массой m_2 (рис. 2.56). Коэффициент трения доски о плоскость μ_1, бруска о доску — μ_2. С какими ускорениями a_1, a_2 движутся брусок и доска, предоставленные сами себе (начальные скорости тел равны нулю)? Рассмотреть возможные случаи.

2.145. Доска массой $M = 2$ кг лежит на наклонной плоскости, образующей угол $\alpha = 30°$ с горизонтальной плоскостью. На доске лежит брусок массой $m = 8$ кг. Коэффициент трения между доской и плоскостью $\mu_1 = 0{,}1$, между бруском и доской $\mu_2 = 3\mu_1$. С какой силой, направленной вдоль доски (рис. 2.57), нужно толкать брусок, чтобы он, покоясь относительно доски, двигался с ней вверх по наклонной плоскости?

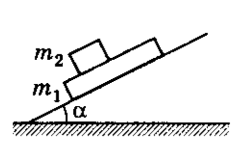


Рис. 2.56

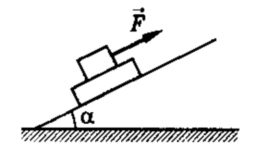


Рис. 2.57

2.146. С наклонной плоскости соскальзывает без трения клин, верхняя грань которого горизонтальна. Наклонная плоскость составляет с горизонтом угол $\alpha = 30°$. На клине покоится тело массой $m = 200$ г (рис. 2.58). Найти силу трения, действующую на тело при движении клина.

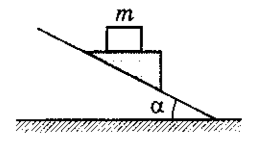


Рис. 2.58

2.147°. Через блок перекинута невесомая нерастяжимая веревка, по обоим концам которой с ускорением a_1' и a_2' относительно веревки поднимаются две обезьянки массами m_1 и m_2 соответственно. Определить силу натяжения веревки T и ускорения a_1 и a_2 обезьянок относительно земли. Массой блока пренебречь.

2.148. В системе, изображенной на рисунке 2.59, блоки невесомы, а нити невесомы и нерастяжимы. Найти ускорение подвижного блока.

2.149. На одном конце веревки, переброшенной через невесомый блок, находится груз массой m, а на другом — обезьянка массой $2m$. Она поднимается вертикально вверх с ускорением $a_{отн} = g$ относительно веревки. Каково ее ускорение a относительно земли?

2.150°. В системе, показанной на рисунке 2.60, $m_1 > m_2 > m_3 > m_4$. Найти силу натяжения нити T_i и силы давления F_i на оси блоков при движении грузов. Трением, массой блоков и нитей пренебречь.

2.151°. Определить ускорения грузов в системе блоков с грузами, изображенной на рисунке 2.61. Массой блоков и нитей пренебречь. Нити считать нерастяжимыми. В какую сторону будут вращаться блоки при движении грузов?

2.152°. Определить ускорение груза m_4 в системе, изображенной на рисунке 2.62, если $m_1 = 1$ кг, $m_2 = 2$ кг, $m_3 = 3$ кг, $m_4 = 6$ кг. Массой нитей и блоков пренебречь. Нити нерастяжимы. Трение не учитывать.

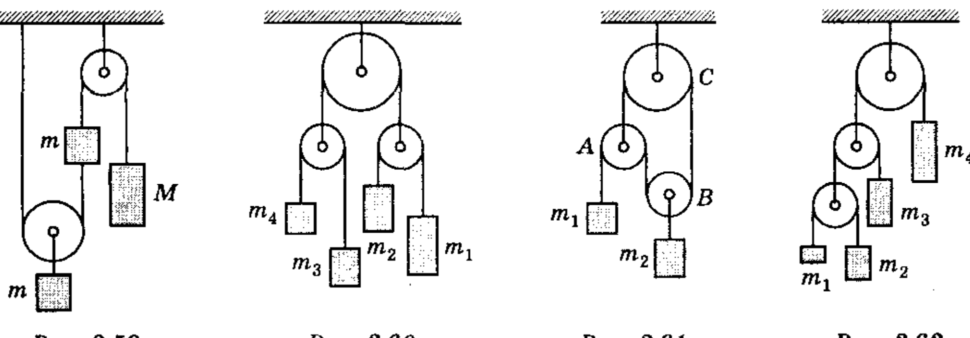


Рис. 2.59 *Рис. 2.60* *Рис. 2.61* *Рис. 2.62*

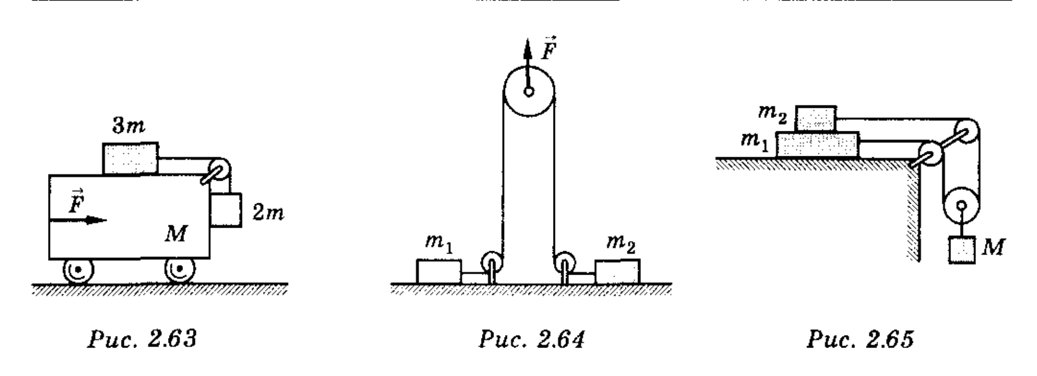


Рис. 2.63 Рис. 2.64 Рис. 2.65

2.153°. а) Какую горизонтальную силу F нужно приложить к тележке массой M, чтобы бруски массой $2m$ и $3m$ (рис. 2.63) относительно нее не двигались? Трением пренебречь. б) При каком значении силы F груз массой $2m$ начнет подниматься вверх с ускорением a; перемещаться в вертикальном направлении с ускорением, равным ускорению тележки? в) Ответить на первый вопрос, считая коэффициент трения между тележкой и брусками равным μ.

2.154°. В системе, изображенной на рисунке 2.64, грузы имеют массы $m_1 = 1$ кг и $m_2 = 2$ кг. Нить и блоки невесомы, трение в осях блоков отсутствует. Коэффициенты трения грузов о плоскость равны соответственно $\mu_1 = 0{,}5$; $\mu_2 = 0{,}3$. В момент времени $t_0 = 0$ на ось верхнего блока начинает действовать сила $F = 12$ Н, направленная вертикально вверх. На сколько уменьшится расстояние между грузами за время $t = 0{,}4$ с после начала действия силы F? Как изменится ответ, если сила $F = 9$ Н? Ускорение свободного падения g считать равным 10 м/с^2.

2.155°. Через систему блоков, изображенную на рисунке 2.65, перекинута нить. К подвижному блоку подвешен груз массой $M = m_1 + m_2$. При каком соотношении между массами m_1 и m_2 бруски не будут скользить друг по другу, если коэффициент трения между брусками равен μ, а коэффициент трения о плоскость равен нулю? Нить невесома и нерастяжима, массой блоков и трением в них пренебречь.

2.156°. К концу нити, прикрепленной к стене и огибающей блок, укрепленный на бруске массой M, подвешен груз (рис. 2.66). Брусок может скользить по гладкой горизонтальной поверхности. Груз отводят на угол α от вертикали и отпускают. Определить ускорение бруска, если угол α не меняется при движении тел системы. Чему равна масса груза?

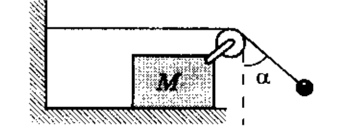


Рис. 2.66

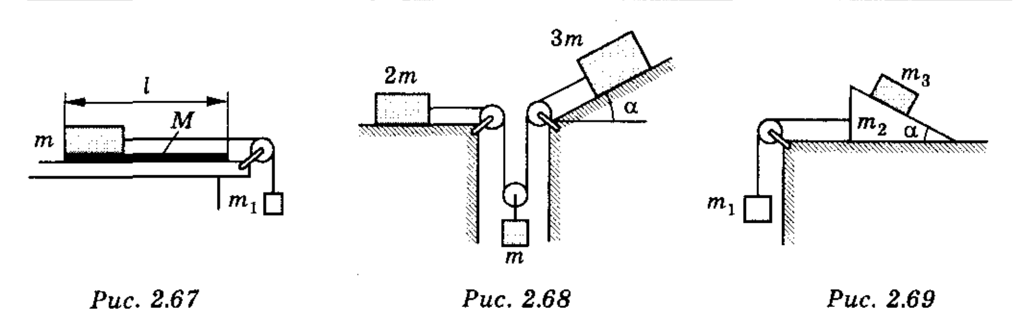


Рис. 2.67 *Рис. 2.68* *Рис. 2.69*

2.157°. На гладком столе лежит доска массой 5 кг, на краю которой удерживается брусок массой $m = 1$ кг. К бруску с помощью невесомой нерастяжимой нити; перекинутой через легкий блок, подвешен груз массой m_1 (рис. 2.67). Коэффициент трения между бруском и доской $\mu = 0{,}2$. При какой минимальной массе груза $m_{1\min}$ брусок будет скользить по доске, если тела освободить? Через какое время после начала движения брусок упадет с доски, если $m_1 = 2m_{1\min}$, а длина доски $l = 2$ м?

2.158°. Определить силу натяжения нити и ускорения связанных между собой грузов в системе, изображенной на рисунке 2.68. Наклонная плоскость составляет с горизонтом угол $\alpha = 30°$. Массой блоков и нити пренебречь. Нить нерастяжима. Трение не учитывать.

2.159°. Определить ускорения тел m_1, m_2, m_3 в механической системе, изображенной на рисунке 2.69. Наклонная плоскость при основании имеет угол α. Трением, массой блока и нити пренебречь.

2.160°. Между двумя одинаковыми гладкими брусками массой m_1 каждый вставлен клин массой m_2 с углом при вершине α (рис. 2.70). Определить ускорения тел.

2.161°. По двум гладким наклонным плоскостям, образующим одинаковые углы α с горизонтом, движутся, касаясь друг друга, цилиндр и клин, одна из плоскостей которого вертикальна (рис. 2.71). Масса цилиндра m_1, масса клина m_2. Найти силу давления клина на цилиндр. Трением пренебречь.

2.162°. Между наклонной плоскостью клина, стоящего на горизонтальной поверхности, и вертикальной стенкой кладут шар такой же

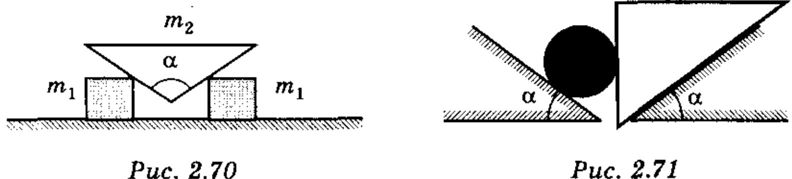


Рис. 2.70 *Рис. 2.71*

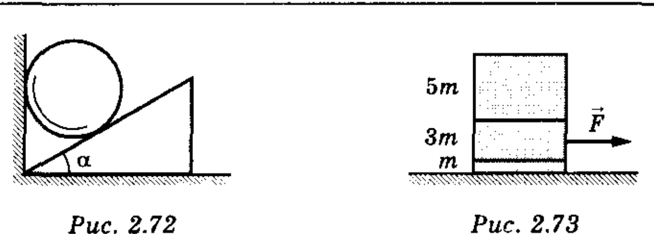


Рис. 2.72 Рис. 2.73

массы, что и клин (рис. 2.72). Определить ускорение клина, если угол при его основании $\alpha = 30°$. Трения нет.

2.163°. Три бруска, массы которых $5m$, $3m$ и m, лежат на горизонтальном столе (рис. 2.73). На средний брусок действует горизонтальная сила F. Коэффициент трения между нижним бруском и столом μ, между средним и нижним — 2μ, между верхним и средним — 4μ. Нарисовать график зависимости: а) ускорения каждого бруска от модуля приложенной силы; б) каждой силы трения, возникающей между брусками от модуля приложенной силы.

Движение материальной точки по окружности

2.164. *Автомобиль массой $m = 1$ т движется со скоростью $v = 60$ км/ч* по дороге, профиль которой показан на рисунке 2.74. Определить силу давления P автомобиля на дорогу в точках A, B, C, D, если $R = 200$ м, $\alpha = 30°$. Какой должна быть скорость автомобиля v_0, чтобы он не оказывал давления на дорогу в точке D?

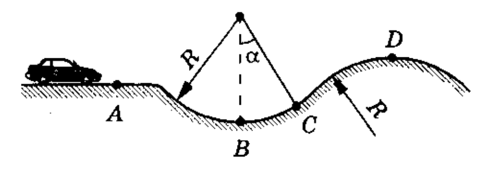


Рис. 2.74

2.165. С какой наибольшей скоростью может двигаться автомобиль на повороте радиусом $R = 10$ м, чтобы не возникло проскальзывание? Коэффициент сцепления колес автомобиля с землей $\mu = 0{,}8$.

2.166. Диск вращается вокруг вертикальной оси с постоянной угловой скоростью $\omega = 2$ рад/с. На каких расстояниях от оси вращения тело, расположенное на диске, не будет соскальзывать? Коэффициент трения между телом и поверхностью диска $\mu = 0{,}2$.

2.167. Горизонтально расположенный диск начинает раскручиваться с постоянным ускорением $\varepsilon = 0{,}7$ рад/с^2. В какой момент времени тело,

расположенное на расстоянии r = 50 см от оси, начнет соскальзывать с диска, если коэффициент трения μ = 0,4?

2.168. Летчик массой m = 70 кг описывает на самолете «мертвую петлю» радиусом R = 100 м. Скорость самолета v = 180 км/ч. С какой силой прижимается летчик к сиденью в верхней и нижней точках петли?

2.169. Горизонтальный вал вращается с угловой скоростью ω. Шарик массой m прикреплен к валу с помощью двух нитей длинной l каждая (рис. 2.75). Найти натяжение нитей в верхней и нижней точках траектории движения шарика, если во время движения нити не провисают и угол между ними 2 α.

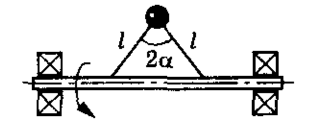


Рис. 2.75

2.170. Сверхзвуковой самолет со скоростью v = 2000 км/ч делает поворот в горизонтальной плоскости. При каком радиусе кривизны траектории летчик будет испытывать пятикратную перегрузку h = 5?

2.171. Велосипедист движется по горизонтальному закруглению, отклонившись от вертикали на угол α = 23°. Оценить возможные значения для коэффициента трения колес о поверхность дороги.

2.172. Определить, с какой максимальной скоростью может двигаться велосипедист по наклонному треку, если коэффициент трения между шинами и треком μ = 0,2. Угол наклона трека α = 45°, радиус закругления R = 30 м.

2.173. Определить скорость, с которой должен двигаться мотоциклист по вертикальной цилиндрической стенке, имеющей диаметр D = 20 м, чтобы не соскользнуть вниз. Коэффициент трения μ = 0,8.

2.174°. Каков должен быть коэффициент трения μ резины о внутреннюю поверхность конуса с углом при вершине 2 α, чтобы мотоциклист мог двигаться по окружности радиуса R (рис. 2.76) с угловой скоростью ω?

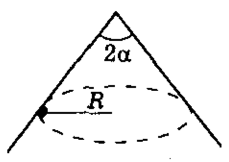


Рис. 2.76

2.175. В вагоне поезда, идущего равномерно со скоростью v = 20 м/с по закруглению радиусом R = 200 м, производится взвешивание груза с помощью динамометра. Масса груза m = 5 кг. Определить результат взвешивания.

2.176. Поезд движется по закруглению радиусом R = 300 м со скоростью v = 50 км/ч при расстоянии между рельсами l = 1,5 м. На сколько следует приподнять наружный рельс по отношению к внутреннему, чтобы давление на них было одинаково? Давления на боковую поверхность рельс нет.

2.177. При каком соотношении масс два тела, связанные нерастяжимой нитью, могут вращаться с одинаковыми угловыми скоростями на гладкой горизонтальной поверхности, если ось вращения делит нить в отношении 1 : 5?

2.178. Система из двух материальных точек массами m и M, соединенных невесомым стержнем длиной l, движется в горизонтальной плоскости. Точки имеют скорость v, которая направлена по углом α к стержню. Определить угловую скорость вращения системы.

2.179. Два одинаковых шарика массой m каждый, связанные нитью длиной l, движутся с одинаковыми скоростями v по горизонтальному столу. Нить серединой налетает на гвоздь. Чему равно натяжение нити сразу после ее соударения с гвоздем в случае, если скорости шаров направлены под углом α к нити?

2.180. Маленький шарик, подвешенный на невесомой нерастяжимой нити длиной $l = 30$ см, вращается в горизонтальной плоскости с периодом обращения $T = 1$ с. Нить составляет с вертикалью угол $\alpha = 30°$ (рис. 2.77). По этим данным вычислить ускорение свободного падения.

2.181. Круглая платформа вращается вокруг вертикальной оси с угловой скоростью ω. На платформе находится шарик массой m, прикрепленный к оси платформы нитью длиной l (рис. 2.78). Угол наклона нити равен α. Найти силу натяжения нити T и силу давления $F_д$ шарика на платформу. Трение отсутствует.

2.182. С какой частотой необходимо вращать карусель, чтобы лодочки, подвешенные к кругу на подвесах длиной $l = 5$ м, отклонились от вертикали на угол $\alpha = 30°$ (рис. 2.79)? Радиус круга $R = 5$ м.

2.183. Груз на длинной нити может совершать колебания в вертикальной плоскости, отклоняясь на угол α от вертикали (математический маятник). Этот же груз может вращаться по окружности, описывая конус (конический маятник). В каком случае натяжение нити, отклоненной на угол α от вертикали, будет больше?

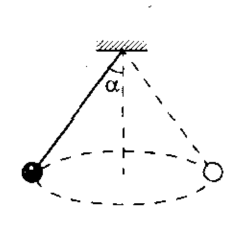


Рис. 2.77

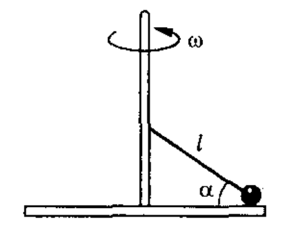


Рис. 2.78

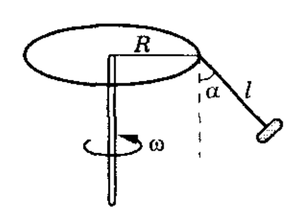


Рис. 2.79

2.184. Шарик массой m, прикрепленный к резиновому шнуру, движется равномерно по окружности, скользя по гладкой горизонтальной поверхности (рис. 2.80). Период обращения шарика T. Найти радиус окружности R, по которой движется шарик, если жесткость шнура равна k, а длина нерастянутого шнура — l.

2.185. Гладкий горизонтальный диск вращается относительно вертикальной оси симметрии с частотой n = 480 об/мин. На поверхности диска лежит шар массой m = 0,1 кг, прикрепленный к центру диска пружиной, жесткость которой k = 1500 Н/м. Какую длину l будет иметь пружина при вращении диска, если ее длина в недеформированном состоянии l_0 = 0,2 м?

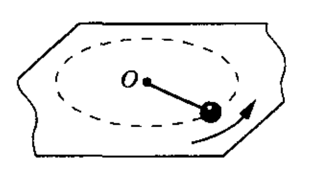
2.186. На диске, который может вращаться вокруг вертикальной оси, лежит шайба массой m = 100 г. Шайба соединена пружиной с осью диска. Если число оборотов диска не превышает n_1 = 2 об/с, пружина находится в недеформированном состоянии. Если число оборотов n_2 = = 5 об/с, то пружина удлиняется вдвое. Определить жесткость пружины.

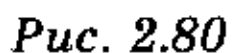
2.187. Шарик на проволоке вращается в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси с частотой n = 2 об/мин. Найти напряжение металла проволоки σ, если масса шарика m = 10 кг, площадь поперечного сечения S = 2 мм^2, длина l = 1,2 м. Массой проволоки пренебречь.

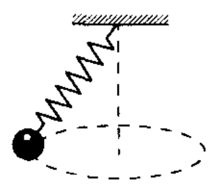
2.188. Тело массой m подвешивают на невесомой пружине жесткостью k и первоначальной длиной l_0. Затем тело раскручивают с частотой n так, что пружина с грузом описывает в пространстве конус (рис. 2.81). Определить возникающее при этом удлинение пружины Δl.

2.189. На наклонной плоскости с углом наклона α = 6° лежит тело (рис. 2.82). Плоскость равномерно вращается вокруг вертикальной оси. Расстояние от тела до оси вращения r = 10 см. Наименьший коэффициент трения, при котором тело удерживается на вращающейся наклонной плоскости μ = 0,4. Найти угловую скорость вращения ω.

2.190. Внутрь гладкой сферы радиусом R насыпали немного песка. Определить центральный угол, образованный радиусом, проведенным к




Рис. 2.80


Рис. 2.81

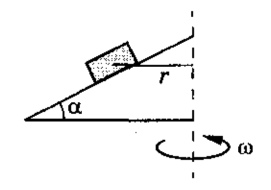


Рис. 2.82

песчинке, и вертикалью, после того, как сферу начнут вращать с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси, проходящей через центр сферы.

2.191°. Полая сфера радиусом R = 0,4 м вращается вокруг вертикального диаметра с постоянной угловой скоростью ω = 5 рад/с. Вместе со сферой на ее внутренней поверхности движется небольшая шайба, находящаяся на высоте h (рис. 2.83). Определить минимальное значение коэффициента трения μ, при котором это возможно.

2.192. Конус с углом раствора 2α вращают вокруг вертикальной оси с угловой скоростью ω. В конусе находится шарик массой m, прикрепленный с помощью нити на высоте h от вершины конуса (рис. 2.84). Найти силу натяжения нити T и силу давления шарика $F_д$ на поверхность конуса, если $l_{нити} >> r_{шар}$. Трение в системе не учитывать.

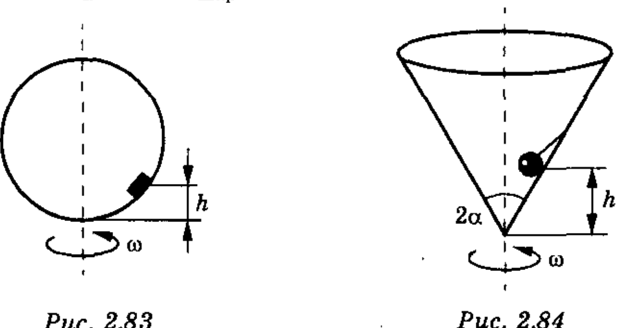


Рис. 2.83 *Рис. 2.84*

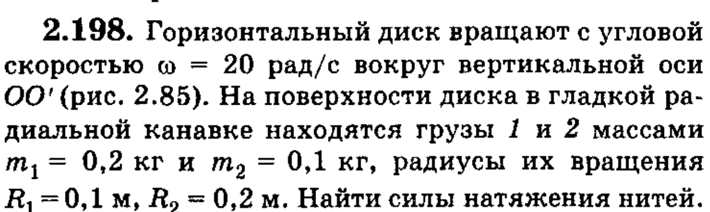
2.193°. Конус с углом раствора 2α вращается вокруг вертикальной оси с угловой скоростью ω и движется с ускорением a вертикально вверх. Определить радиус вращения шарика R, находящегося в этом конусе. Трение не учитывать.

2.194°. Груз массой m = 1 кг, подвешенный на нити длиной l = 1 м, описывает в горизонтальной плоскости окружность с постоянной угловой скоростью, совершая один оборот в секунду. Определить силу упругости нити и угол, который образует нить с вертикалью, если точка подвеса движется вертикально вверх с ускорением a = 1 м/с^2.

2.195°. Шарик на нити, вращающийся равномерно в вертикальной плоскости, находится в лифте, движущемся с ускорением $2g$. Когда шарик находится в нижней точке своей траектории, натяжение нити равно нулю. Определить натяжение нити T в момент, когда шарик находится в верхней точке своей траектории. Масса шарика m.

2.196. На гладком столе лежит кольцо массой m и радиусом R. Кольцо сделано из проволоки, выдерживающей максимальное натяжение T_0. До какой угловой скорости ω нужно раскрутить кольцо, чтобы оно разорвалось?

2.197. Тонкое резиновое кольцо радиусом R_0 и массой m раскрутили на гладком столе до угловой скорости ω. Найти новый радиус кольца R, если жесткость резины k.



2.198. Горизонтальный диск вращают с угловой скоростью ω = 20 рад/с вокруг вертикальной оси OO' (рис. 2.85). На поверхности диска в гладкой радиальной канавке находятся грузы *1* и *2* массами m_1 = 0,2 кг и m_2 = 0,1 кг, радиусы их вращения R_1 = 0,1 м, R_2 = 0,2 м. Найти силы натяжения нитей.

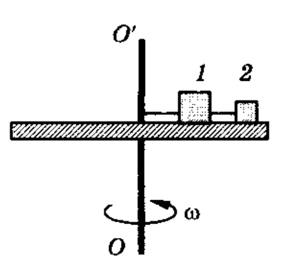


Рис. 2.85

2.199. Небольшое тело массой m, укрепленное на невесомом стержне, равномерно движется по окружности радиусом R со скоростью v_0. В некоторый момент времени на тело начинает действовать сила F, направленная под углом α к скорости (рис. 2.86). Какое время тело будет двигаться до полной остановки? Сколько оборотов совершит тело до полной остановки?

2.200. Цепочка массой m = 100 г надета на вертикальный цилиндр радиусом R = 20 см (рис. 2.87). Сила натяжения цепочки T = 0,3 Н. Найти коэффициент трения между поверхностью цилиндра и цепочкой, если при вращении цилиндра вокруг своей оси с угловой скоростью ω = 4 рад/с цепочка с него соскальзывает.

2.201. На наклонной плоскости с углом наклона α = 30°, на расстоянии l = 0,5 м от точки O, лежит небольшая шайба. Плоскость равномерно вращается с угловой скоростью ω = 10 рад/с и одновременно движется вертикально вверх с ускорением a = 5 м/с^2 (рис. 2.88). Найти наименьший коэффициент трения, при котором тело еще удерживается на наклонной плоскости.

2.202. Стержень длиной l = 1 м закреплен жестко под углом α = 30° к вертикальной оси (рис. 2.89). К нижнему концу стержня прикреплен шар массой m = 1 кг. Вся система вращается с угловой скоростью ω = = 10 рад/с. Найти силу, с которой стержень действует на шар.

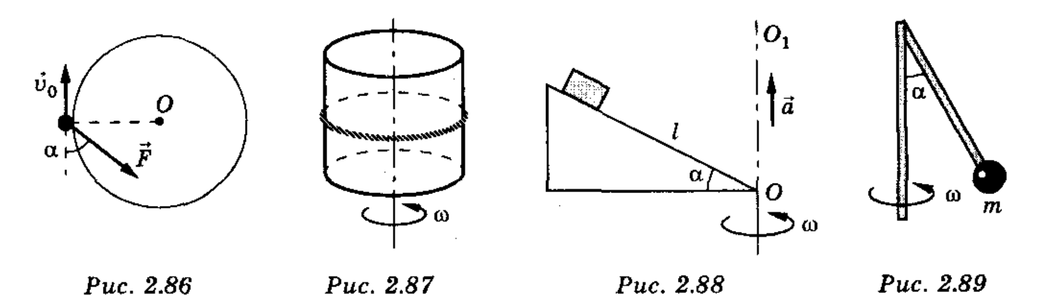


Рис. 2.86 *Рис. 2.87* *Рис. 2.88* *Рис. 2.89*

Таблица 2

Формулы	Обозначения	Единицы измерения
Второй закон Ньютона $\vec{F} = m\vec{a}\begin{cases}F_x = ma_x, \\ F_y = ma_y\end{cases}\begin{cases}F_\tau = ma_\tau, \\ F_n = ma_n\end{cases}$	$\vec{F}$ — сила m — масса $\vec{a}$ — ускорение F_x, F_y, F_τ, F_n — проекция силы на соответствующие оси	1 Н 1 кг 1 м/с^2
Третий закон Ньютона $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$	$\vec{F}_{12}$ — сила, действующая со стороны первого тела на второе $\vec{F}_{21}$ — сила, действующая со стороны второго тела на первое	
Сила тяжести — $m\vec{g}$ $\vec{P} = -\vec{N}$; $F_{тр} = \mu\lvert\vec{N}\rvert$	$\vec{P}$ — вес тела $\vec{N}$ — сила реакции опоры $F_{тр}$ — сила трения μ — коэффициент трения	
Закон Гука $F_{упр} = -k\Delta x$	$F_{упр}$ — сила упругости k — коэффициент упругости (жесткости) Δx — растяжение (сжатие) пружины l_0 — длина пружины без деформации	 1 Н/м 1 м
Равномерное движение по окружности $F_n = ma_n$; $a_n = \dfrac{v^2}{R} = \omega^2 R$	v — линейная скорость ω — угловая скорость R — радиус вращения	1 м/с 1 рад/с 1 м

3. Работа. Законы сохранения импульса и энергии

Закон сохранения импульса

3.1. Определить импульс пули массой $m = 10$ г, движущейся со скоростью $v = 600$ м/с. Во сколько раз изменится импульс пули, если ее масса будет в $n = 2$ раза меньше, а скорость в $k = 1{,}5$ раза больше?

3.2°. Бусинка массой m движется с постоянной скоростью v по проволоке, изогнутой в виде параболы $y = x^2$. Найти проекцию импульса бусинки на ось Y в точке x_0.

3.3. Тело массой $m = 1$ кг, двигаясь прямолинейно и поступательно, увеличило свою скорость от $v_1 = 1$ м/с до $v_2 = 10$ м/с. Найти изменение импульса этого тела.

3.4. Тело массой $m = 1$ кг движется равномерно по окружности со скоростью $v = 2$ м/с. Определить изменение импульса тела после того, как оно пройдет четверть окружности; половину окружности.

3.5. Тело массой $m = 0{,}2$ кг падает с высоты $h = 1$ м с ускорением $a = 8$ м/с^2. Найти изменение импульса тела. Начальная скорость равна нулю.

3.6. При свободном движении тела над поверхностью земли между точками траектории A и B модуль изменения импульса тела равен Δp. Найти время полета t между этими точками. Сопротивление воздуха не учитывать. Масса тела m.

3.7. Снаряд массой $m = 10$ кг вылетает из ствола орудия со скоростью $v = 600$ м/с. Зная, что время движения снаряда внутри ствола $\Delta t = 0{,}008$ с, определить среднюю силу давления пороховых газов.

3.8. На тело в течение времени $t = 10$ с действует постоянная сила $F = 50$ Н. Найти массу тела, если изменение скорости в результате действия силы $\Delta v = 5$ м/с.

3.9. Автомобиль массой $m = 1$ т движется по горизонтальной дороге со скоростью $v = 36$ км/ч. Найти время торможения Δt, если тормозящая сила $F = 5$ кН.

3.10. Скорость реактивного самолета $v = 900$ км/ч. На пути самолета оказалась птица массой $m = 2$ кг. Определить среднюю силу удара птицы

о стекло кабины летчика, если длительность удара $\Delta t = 0{,}001$ с. Каково среднее давление на стекло при ударе, если площадь соприкосновения птицы со стеклом $S = 1000$ см^2?

3.11. Между двумя лодками, находящимися на поверхности озера, натянута веревка. Человек на первой лодке начинает тянуть веревку с постоянной силой $F = 50$ Н. Определить скорости, с которыми будет двигаться первая лодка относительно берега и относительно второй лодки через $t = 5$ с, после того, как человек на первой лодке стал тянуть веревку. Масса первой лодки с человеком $m_1 = 250$ кг, масса второй лодки с грузом $m_2 = 500$ кг. Сопротивление воды не учитывать. Решить задачу несколькими способами.

3.12. Шарик массой m подлетает по направлению нормали к стенке со скоростью v, ударяется о нее и отскакивает с той же по величине скоростью. а) Указать величину и направление импульса p, который стенка сообщила шарику; б) С какой средней силой F действовал шарик на стенку, если удар продолжался t с? в) Определить величину импульса p_1, который мог бы получить шарик от стенки, если бы он прилип к ней.

3.13. Определить изменение импульса шарика массой $m = 50$ г, движущегося со скоростью $v = 2$ м/с при упругом ударе о неподвижную плоскость, составляющую с вектором скорости угол α, равный: а) 60°; б) 90°.

3.14. Падающий вертикально шарик массой $m = 0{,}2$ кг ударился об пол и подпрыгнул на высоту $h = 0{,}4$ м. Найти среднюю силу, действующую со стороны пола на шарик, если длительность удара $\Delta t = 0{,}01$ с, к моменту удара об пол скорость шарика $v = 5$ м/с.

3.15. Шарик летит перпендикулярно стенке со скоростью v. Стенка движется навстречу шарику, со скоростью u. Какой станет скорость шарика v_1 после упругого удара о стенку?

3.16. Молекула летит со скоростью $v = 500$ м/с и упруго ударяется о поршень, движущийся навстречу ей. Скорость молекулы составляет угол $\alpha = 60°$ с нормалью поршня. Определить величину и направление скорости молекулы после удара. Скорость поршня $u = 20$ м/с.

3.17. Два шарика массами $m_1 = 2$ г и $m_2 = 3$ г движутся в горизонтальной плоскости со скоростями $v_1 = 6$ м/с и $v_2 = 4$ м/с соответственно. Направления движения шариков составляют друг с другом угол $\alpha = 90°$. Чему равна сумма импульсов этих шариков?

3.18. Два одинаковых шарика массой $m = 2$ кг каждый движутся поступательно и прямолинейно в горизонтальной плоскости с одинаковыми

скоростями v = 4 м/с: а) вдоль одной прямой навстречу друг другу; б) вдоль одной прямой один за другим; в) так, что угол между скоростями шаров $\alpha = 120°$. Чему равен импульс системы шаров в каждом случае?

3.19. Чтобы сцепить три одинаковых железнодорожных вагона, стоящих на рельсах на небольшом расстоянии друг от друга, первому сообщают скорость v_0 — 3 м/с. Какой скоростью будут обладать вагоны после сцепления?

3.20. Тележка с песком массой M = 10 кг катится со скоростью v_2 = 1 м/с по гладкой горизонтальной поверхности. В песок попадает и застревает в нем шар массой m = 2 кг, летевший навстречу тележке (рис. 3.1) с горизонтальной скоростью v_1 = 2 м/с. В какую сторону и с какой скоростью покатится тележка после попадания шара?

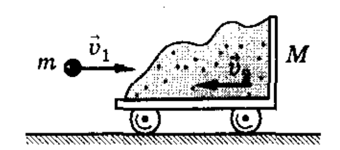


Рис. 3.1

3.21. Платформа с установленным на ней орудием движется со скоростью v_1 = 9 км/ч. Общая масса M = 200 $т$. Из орудия выпущен снаряд массой m со скоростью v_2 = 800 м/с относительно платформы. Определить скорость платформы после выстрела, если: а) выстрел произведен по направлению движения; б) выстрел произведен под углом $\alpha = 60°$ к направлению движения.

3.22*. Частица массой m_1 = 1 г, движущаяся со скоростью $v_1 = 3\vec{i}$, испытала абсолютно неупругое столкновение с другой частицей, масса которой m_2 = 2 г, а скорость $\vec{v}_2 = 2\vec{i} + 3\vec{j}$. Чему равен импульс образовавшейся частицы? Чему равен модуль импульса?

3.23. Движущееся тело распадается на два осколка с импульсами p_1 и p_2, направленными под углом θ друг к другу. Найти величину импульса p тела.

3.24. Тело массой M, летящее со скоростью u, распадается на два осколка, масса одного из которых равна m. Скорость этого осколка перпендикулярна скорости u и равна v_1. Чему равна скорость второго осколка?

3.25. Граната, летевшая горизонтально со скоростью v_0 = 10 м/с, разорвалась на две части массами m_1 = 1 кг и m_2 = 1,5 кг. Скорость большего куска осталась горизонтальной и возросла до v_2 = 25 м/с. Определить скорость и направление полета меньшего осколка.

3.26. Космонавты Г. Береговой и В. Лебедев выпустили на орбиту космический спутник «Искра-2», сделанный в МАИ. Масса космического

корабля $M = 10^4$ кг, масса спутника $m = 5$ кг. Спутник выпускают в направлении, противоположном движению корабля со скоростью $v = 2$ м/с относительно него. Найти изменение скорости космического корабля.

3.27. К аэростату, масса которого M, привязана веревочная лестница, на которой стоит человек массой m. Аэростат неподвижен. В каком направлении и с какой скоростью u будет перемещаться аэростат, если человек начнет подниматься с постоянной скоростью v относительно лестницы?

3.28. Конькобежец, стоящий на льду, бросает вдоль льда камень массой $m = 0{,}5$ кг. За время $t = 2$ с камень прошел до остановки расстояние $s = 20$ м. С какой скоростью после броска камня начнет двигаться конькобежец, если его масса $M = 60$ кг?

3.29. Артиллерист стреляет из пушки ядром массой m так, что оно может упасть в неприятельском лагере на расстоянии L от пушки. Однако в момент выстрела на ядро садится барон Мюнхгаузен, масса которого $M = 5\,m$. Какую часть пути s до неприятельского лагеря ему придется идти пешком?

3.30. Орудие установлено на железнодорожной платформе. Масса платформы с орудием $M = 50$ т, масса снаряда $m = 25$ кг. Орудие выстреливает в горизонтальном направлении вдоль железнодорожного пути. Начальная скорость снаряда относительно платформы $v_0 = 1000$ м/с. Какую скорость v_1 будет иметь платформа после второго выстрела? Трением и сопротивлением воздуха можно пренебречь.

3.31. На противоположных концах стоящей на рельсах железнодорожной платформы закреплены две пушки. Ствол первой из них установлен под углом $\alpha = 60°$, а второй под углом $\beta = 45°$ к горизонту. Из первой пушки производят выстрел снарядом массой $m = 50$ кг. Затем таким же снарядом стреляют из второй пушки. Оба снаряда имеют одинаковые начальные скорости $u = 200$ м/с относительно платформы. Определить скорость платформы после двух выстрелов. Масса платформы с пушками и снарядами $M = 1{,}5$ т. Оба выстрела производятся в противоположные стороны вдоль рельсов. Трение отсутствует.

3.32. Две одинаковые лодки движутся со скоростями $v_1 = 10$ м/с и $v_2 = 15$ м/с под углами $\alpha_1 = 30°$ и $\alpha_2 = 45°$ к некоторому направлению. Когда лодки оказываются на очень близком расстоянии друг от друга, пассажир второй лодки перекладывает на первую груз так, что скорость его лодки не меняется. Считая массу каждой лодки вместе с пассажиром в $n = 20$ раз больше массы груза, найти скорость первой лодки. Сопротивление воды не учитывать.

3.33*. Две лодки идут параллельными курсами навстречу друг другу с одинаковыми скоростями v. Когда лодки встречаются, с одной лодки на другую перебрасывают груз массой m, а затем со второй лодки на первую перебрасывают такой же груз. В другой раз грузы перебрасывают из лодки в лодку одновременно. В каком случае скорости лодок после перебрасывания грузов будут больше? Масса каждой лодки M.

3.34. Между двумя тележками массой m_1 и m_2 помещена сжатая пружина. В процессе возвращения пружины в нормальное состояние она действует на каждую из тележек со средней силой F в течение времени t. Показать, что после окончания действия пружины тележки будут двигаться так, что их общий центр масс будет оставаться неподвижным.

3.35. Человек массой $m = 70$ кг находится на корме лодки, длина которой $l = 5$ м и масса $M = 280$ кг. Человек переходит на нос лодки. На какое расстояние лодка передвинется относительно воды? Может ли лодка передвинуться на расстояние больше длины лодки?

3.36. Из орудия произведен выстрел. В точке наивысшего подъема снаряд разорвался на две равные части. Один из осколков упал возле орудия. Какова дальность полета s второго осколка, если расстояние по горизонтали от орудия до наивысшей точки подъема равно l?

3.37. Космонавт массой m приближается к космическому кораблю массой M с помощью троса, длина которого l. Какой путь s пройдет космонавт до сближения с кораблем?

3.38. На корме и на носу лодки на расстоянии $l = 3{,}4$ м друг от друга сидят рыболовы, массы которых $m_1 = 90$ кг и $m_2 = 60$ кг. Рыболовы меняются местами. Каково при этом перемещение лодки, если ее масса $M = 50$ кг? Может ли перемещение лодки быть больше ее длины?

3.39. На призму массой M и длиной l положили призму массой m и длиной l_1 (рис. 3.2). На какое расстояние сместится нижняя призма, когда верхняя призма достигнет ее основания, не коснувшись пола? Трения между полом и нижней призмой нет.

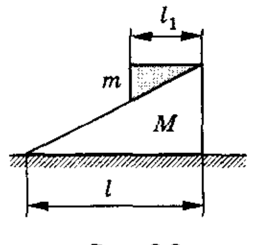


Рис. 3.2

3.40. Лягушка массой m сидит на конце доски массой M и длиной l. Доска плавает на поверхности пруда. Лягушка прыгает под углом α к горизонту вдоль доски. Какой должна быть скорость лягушки v, чтобы она оказалась на другом конце доски?

3.41. Кузнечик массой m сидит на конце соломинки массой M и длиной l, лежащей на гладкой поверхности. С какой минимальной ско-

ростью v должен прыгнуть кузнечик, чтобы оказаться на другом конце соломинки?

3.42. На носу лодки длиной $l = 5$ м стоит человек, держа на высоте $h = 1$ м камень массой $m = 1$ кг. Человек бросает камень горизонтально вдоль лодки. Какую скорость относительно берега должен сообщить человек камню, чтобы попасть в корму лодки? Масса лодки с человеком равна $M = 250$ кг, сопротивление воды и воздуха не учитывать.

3.43. Струя воды ударяет в стенку и стекает по ней (рис. 3.3). Оценить давление струи на стенку, если скорость течения воды в струе $v = 10$ м/с.

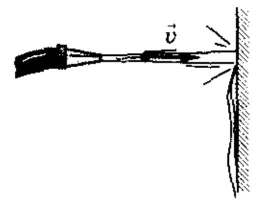


Рис. 3.3

3.44. Струя вода сечением $S = 6$ см^2 ударяет в стенку под углом $\alpha = 60°$ к нормали и отскакивает от нее без потери скорости. Найти силу, действующую на стенку, если известно, что скорость течения воды в струе $v = 12$ м/с.

3.45. Ракета, двигаясь со скоростью u, попадает в облако космической пыли плотностью ρ. Площадь лобового сечения ракеты S. Пылинки прилипают к ракете. Какую силу тяги F должны развивать двигатели, чтобы ракета двигалась с постоянной скоростью? Изменением массы ракеты пренебречь.

3.46. Найти минимальную силу трения между колесами автомобиля и дорогой, чтобы он мог двигаться со скоростью $v = 30$ м/с под дождем в безветренную погоду. Масса дождевой капли $m = 0{,}1$ г. Считать, что на каждый см^2 за одну секунду падают две капли дождя ($n = 2$ см$^{-2}$ · с$^{-1}$). Площадь поверхности автомобиля, на которую падают капли дождя, $S = 5$ м^2.

3.47*. С какой силой F давит на землю кобра, готовясь к прыжку, поднимаясь вертикально вверх с постоянной скоростью v? Масса змеи m, ее длина l.

3.48°. Обезьяна массой m уравновешена противовесом на блоке A. Блок A уравновешен грузом на блоке B (рис. 3.4). Система неподвижна. С какой скоростью v будет двигаться груз массой $2m$, если обезьяна будет равномерно выбирать веревку со скоростью u относительно себя? Массу блоков не учитывать, трением пренебречь.

3.49°. На чашке весов прыгают n шариков массой m каждый. Какова средняя сила F, действующая на чашку весов, если при ударе шариков о чашку модуль их скорости не меняется?

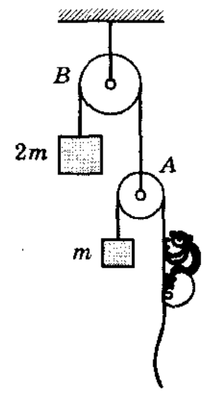


Рис. 3.4

3.50°. На чашке весов стоят песочные часы. Когда песок внизу, показания весов P_0. Время падения каждой песчинки τ. Построить график зависимости показаний весов от времени.

3.51. Две одинаковых тележки, на которых сидят два одинаковых дворника, движутся с одинаковыми скоростями. В некоторый момент времени на тележки начинает падать снег равномерным потоком. Дворник, сидящий на одной из тележек, сбрасывает все время снег вбок, а второй дворник спит. Какая из тележек быстрее пройдет расстояние s?

3.52°. На абсолютно гладкой поверхности лежит обруч массой M и радиусом R. На обруче находится жук, масса которого m. Какие траектории будут описывать жук и центр обруча при движении жука по обручу?

Реактивное движение

3.53. Какую скорость получит ракета относительно Земли, если масса мгновенно выброшенных газов составит 0,2 от массы неподвижной ракеты, а их скорость u = 1 км/с?

3.54. Гидрореактивный (водометный) катер всасывает и выбрасывает ежесекундно V_0 = 0,5 м^3 забортной воды. Скорость выбрасываемой воды относительно катера v = 25 м/с. Найти реактивную силу.

3.55. Ракета массой M висит над поверхностью Земли. Какую массу топлива в единицу времени μ[1] она должна расходовать, если скорость истечения газов v?

3.56. Ракету массой M запускают вертикально. Скорость истечения газов из сопла двигателя равна v. При каком расходе топлива μ сила тяги будет достаточна, чтобы сообщить ракете ускорение a?

3.57. Внутри вертикальной трубы диаметром d = 0,1 м укреплен вентилятор. Во время работы вентилятора из трубы выбрасывается струя воздуха и труба повисает в воздухе (рис. 3.5). При какой скорости воздуха в струе это происходит? Масса трубы вместе с вентилятором M = 3 кг, плотность воздуха ρ = 1,29 кг/м^3.

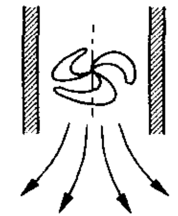
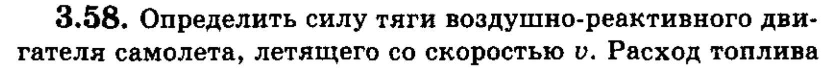


Рис. 3.5

3.58. Определить силу тяги воздушно-реактивного двигателя самолета, летящего со скоростью v. Расход топлива



[1] $\mu = \frac{m}{t}$ — расход топлива.

и поступающего в двигатель воздуха μ_1 и μ_2 соответственно. Скорость продуктов сгорания относительно самолета на выходе из сопла двигателя u.

3.59. Огнетушитель выбрасывает $m = 0{,}2$ кг пены за одну секунду со скоростью $v = 20$ м/с. Масса огнетушителя $M = 2$ кг. С какой силой нужно держать огнетушитель в момент начала его работы? Огнетушитель должен быть неподвижным, а выбрасываемая струя пены — горизонтальной.

3.60. Третья ступень ракеты состоит из ракеты-носителя массой $M = 500$ кг и головного конуса массой $m = 10$ кг. При испытании на Земле пружина сообщила скорость конусу $v = 5{,}1$ м/с по отношению к ракете-носителю. Определить скорости конуса и ракеты-носителя, если это отделение произойдет на орбите при движении ракеты со скоростью $u = 8$ км/с относительно Земли.

3.61. Космический корабль перед отделением последней ступени ракеты-носителя имел скорость v. После отбрасывания последней ступени его скорость стала $v_1 = 1{,}01v$. При этом отделившаяся часть удаляется от него со скоростью $v_2 = 0{,}04v$. Какова масса последней ступени, если масса корабля m_0?

3.62*. Допустим, что реактивный двигатель ракетоплана Циолковского выбрасывает продукты сгорания порциями, масса которых $m = 200$ г и скорость при вылете из сопла двигателя $v = 1000$ м/с. Какую скорость будет иметь ракетоплан после вылета третьей порции газа? Масса ракетоплана в начальный момент $M = 300$ кг. Какова будет скорость ракетоплана в конце первой секунды движения, если в двигателе происходит $N = 20$ взрывов в одну секунду? Начальная скорость ракетоплана равна нулю.

3.63*. Из ракеты массой M выбрасываются продукты сгорания порциями, массы которых m, со скоростью v относительно ракеты. Определить скорость v_N ракеты после вылета N-й порции продуктов сгорания. Пренебречь действием силы тяжести и сопротивлением воздуха.

3.64*. Ядро летит со скоростью v и попадает в поток песчинок, которые движутся с одинаковыми скоростями u под углом $\alpha = 150°$ к скорости ядра и прилипают к нему. Из потока ядро вылетает со скоростью v_1, в 4 раза меньшей под углом $\beta = 90°$ к скорости потока. Какова скорость песчинок u? Сколько песчинок N прилипает к ядру, если масса одной песчинки в 1000 раз меньше массы ядра?

Работа, мощность

3.65. Ящик тянут равномерно по горизонтальной поверхности с помощью веревки, которая образует с поверхностью угол $\alpha = 30°$. Сила натяжения веревки $F = 25$ Н. Определить работу силы натяжения при перемещении ящика на расстояние $s = 52$ м.

3.66. Вертолет массой $m = 5$ т поднимается вертикально вверх с постоянной скоростью. Какую работу совершает двигатель вертолета против силы тяжести при подъеме его на высоту $h = 50$ м?

3.67. Лифт массой $m = 10^3$ кг начинает подниматься с постоянным ускорением $a = 0{,}2$ м/с^2. Чему равна работа силы натяжения каната, с помощью которого поднимается лифт, за первые $\Delta t = 4$ с движения?

3.68. Груз массой $m = 7$ кг поднимают на веревке с поверхности земли на высоту $h = 1$ м: один раз равномерно, второй — равноускоренно с ускорением $a = 2$ м/с^2. На сколько работа по подъему груза во втором случае больше, чем в первом? Сопротивление воздуха не учитывать.

3.69. Мощность всех двигателей космического корабля «Восток-1» составляет $N \approx 1500$ МВт. Сколько двигателей от легкового автомобиля «Москвич» могли бы развить такую же мощность, если у одного двигателя мощность $N_1 = 33$ кВт?

3.70. Академик Б. С. Якоби в 1834 г. изобрел электродвигатель, с помощью которого можно было равномерно поднимать груз массой $m = 5$ кг на высоту $h = 0{,}6$ м за время $\Delta t = 2$ с. Определить мощность этого двигателя.

3.71. Определить полезную мощность двигателя мотоцикла серии Иж-56, если при скорости $\upsilon = 108$ км/ч его сила тяги $F = 350$ Н.

3.72. Сила тяги сверхзвукового самолета $F = 220$ кН при скорости полета $\upsilon = 2340$ км/ч. Найти мощность двигателей самолета в этом режиме полета. Какая работа совершается им в течение $t = 45$ мин?

3.73. При скорости полета $\upsilon = 900$ км/ч все четыре двигателя самолета Ил-62 развивают мощность $N = 30$ МВт. Найти силу тяги каждого двигателя в этом режиме полета.

3.74. На катер действует сила сопротивления, пропорциональная квадрату скорости катера. Во сколько раз нужно увеличить мощность двигателя, чтобы скорость катера возросла в 2 раза?

3.75. Найти работу силы тяжести и среднюю мощность этой силы за первую секунду свободного падения тела массой $m = 1$ кг; за пятую секунду.

3.76. Под действием двух взаимно перпендикулярных сил $F_1 = 30$ Н и $F_2 = 40$ Н первоначально неподвижное тело переместилось на расстояние $\Delta s = 10$ м. Найти работу каждой силы и работу равнодействующей силы.

3.77. Какую работу нужно совершить, чтобы вертикально забросить камень массой m на высоту h, если средняя сила сопротивления воздуха постоянна и равна F?

3.78. Какую минимальную работу нужно совершить, чтобы за время t подняться по движущемуся вниз эскалатору метро? Высота подъема h, скорость эскалатора v, угол наклона эскалатора к горизонту равен α.

3.79. Небольшое тело массой m равномерно втащили на горку, действуя силой, которая в каждой точке направлена по касательной к траектории (рис. 3.6). Найти работу этой силы, если высота горки h, длина ее основания l и коэффициент трения μ.

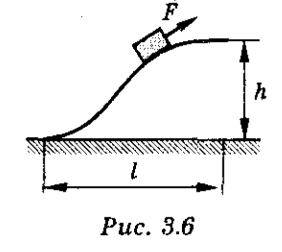


Рис. 3.6

3.80. Какую работу совершает двигатель автомобиля «Жигули» массой $m = 1{,}3$ т, на первых $s = 75$ м пути, если это расстояние автомобиль проходит за время $t = 10$ с? Коэффициент сопротивления движению $k = 0{,}05$. Чему будет равна работа силы тяжести на этом участке пути?

3.81. Какую работу совершит сила $F = 30$ Н при подъеме по наклонной плоскости груза массой $m = 2$ кг на высоту $H = 2{,}5$ м с ускорением $a = 10$ м/с^2? Сила действует параллельно наклонной плоскости. Трением пренебречь.

3.82°. Над Землей неподвижно висит ракета массой M. Скорость истечения газов равна u. Определить мощность двигателя.

3.83. Аэросани массой $m = 2$ т трогаются с места и движутся с постоянным ускорением $a = 0{,}5$ м/с^2. Коэффициент трения $\mu = 0{,}1$. Определить среднюю полезную мощность, развиваемую аэросанями на участке пути, которому соответствует конечная скорость $v = 15$ м/с.

3.84. Какой должна быть минимальная полезная мощность мотора, обеспечивающая взлет самолета ПО-2? Технические данные самолета: масса $m = 1$ т, длина разбега $s = 100$ м, взлетная скорость $v = 80$ км/ч. Коэффициент трения при разбеге $\mu = 0{,}2$. Движение во время разбега считать равноускоренным.

3.85. Электровоз тянет поезд, общая масса которого $m = 2000$ т. Принимая, что полезная мощность электровоза постоянна $N = 1800$ кВт, а коэффициент трения $\mu = 0{,}005$, определить: ускорение поезда в те моменты, когда его скорость $v_1 = 4$ м/с и $v_2 = 12$ м/с; максимальную скорость поезда v_{max}.

3.86. Два автомобиля, полезная мощность которых N_1 и N_2, развивают скорости v_1 и v_2 соответственно. Какую скорость v они разовьют, если сцепить их вместе?

3.87. Найти полезную мощность двигателя мотодельтоплана, имеющего полетную массу $m = 200$ кг, при горизонтальном полете со скоростью $v = 72$ км/ч. Известно, что отношение подъемной силы к силе лобового сопротивления $k = 5$, а КПД винтомоторной установки $\eta = 0{,}4$.

3.88*. Автомобиль массой m трогается с места. Обе оси колес ведущие. Коэффициент трения колес о дорогу равен μ. Найти зависимость скорости автомобиля от времени. Полезная мощность двигателя постоянна и равна N.

3.89. Транспортер поднимает песок в кузов автомобиля. Длина ленты транспортера $l = 3$ м, угол наклона ее к горизонту $\alpha = 30°$. КПД транспортера $\eta = 85\%$. Мощность, развиваемая электродвигателем транспортера, $N = 3{,}5$ кВт. За какое время транспортер загрузит $m = 6$ т песка?

3.90*. Вычислить работу A, совершаемую над частицей силой $\vec{F} = 2\vec{i}$ на пути от точки с координатами (1, 2, 3) до точки с координатами (7, 8, 9).

3.91*. Частица совершила перемещение в плоскости XOY из точки с радиус-вектором $\vec{r}_1 = \vec{i} + \vec{j}$ в точку с радиус-вектором $\vec{r}_2 = 2\vec{i} + 3\vec{j}$. При этом одна из действующих на частицу сил $\vec{F} = 3\vec{i} + 4\vec{j}$. Найти работу этой силы.

3.92*. Под действием некоторой силы тело массой m движется со скоростью $\vec{v} = \vec{i} + 2t\vec{j}$. Найти зависимость мощности этой силы от времени.

3.93. Цилиндрическая труба высотой H, толщина стенок которой b, построена из материала плотностью ρ. Сечение трубы — кольцо с внутренним радиусом r. Найти работу против силы тяжести при сооружении трубы.

3.94. Какую минимальную работу надо совершить, чтобы из колодца глубиной $h = 10$ м поднять на тросе ведро с водой массой $m = 8$ кг? Линейная плотность троса $\mu = 0{,}4$ кг/м.

3.95. Тело движется в положительном направлении оси X. На него действует сила, проекция которой на ось зависит от координаты x так, как показано на рисунке 3.7. Определить работу силы к тому моменту времени, когда тело из начала координат переместится в точку с координатой: а) $x_1 = 4$ м; б) $x_2 = 8$ м.

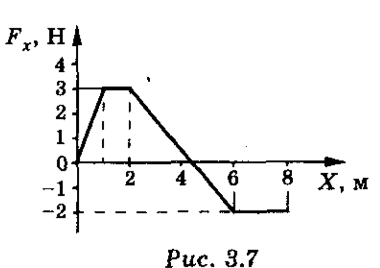


Рис. 3.7

3.96. Оконную штору массой $m = 2$ кг, длиной $l = 2$ м, шириной $h = 4$ м: а) свертывают в тонкий валик наверху окна; б) отодвигают по карнизу на одну сторону окна. Коэффициент трения шторы о карниз $\mu = 0{,}25$. *Найти работу, совершаемую в каждом случае, и сравнить результаты.*

3.97. Пружину жесткостью $k = 100$ Н/м растягивают на $\Delta x = 10$ см. Какую работу при этом совершают? В начальном положении пружина недеформирована.

3.98. Два мальчика, взявшись за разные концы динамометра, растягивают его, прилагая каждый силу $F = 100$ Н. Пружина растянулась при этом на $\Delta l = 2$ см. Что покажет динамометр? Каков коэффициент жесткости пружины? Какую работу совершили мальчики?

3.99. Какую работу надо совершить, чтобы растянуть на $\Delta l = 1$ мм стальной стержень длиной $l = 1$ м, сечением $S = 1$ см^2? Модуль Юнга для стали $E = 2{,}2 \cdot 10^{11}$ Па.

3.100. При нагрузке $P = 9{,}8$ кН балка прогибается на $\Delta x_1 = 10$ мм. Какую работу нужно совершить, чтобы ненагруженная балка прогнулась на $\Delta x_2 = 50$ мм?

3.101. Когда к пружине подвешен груз массой $m_1 = 3$ кг, ее длина $l_1 = 112$ мм. Если масса груза $m_2 = 8$ кг, то длина пружины $l_2 = 132$ мм. Какую работу необходимо совершить, чтобы растянуть пружину до длины l_2 из недеформированного состояния?

3.102. Две пружины, жесткости которых $k_1 = 300$ Н/м и $k_2 = 500$ Н/м, скреплены последовательно и растянуты так, что растяжение второй пружины $x = 3$ см. Вычислить работу по растяжению пружин.

3.103. На горизонтальной плоскости лежит брусок массой $m = 2$ кг. К бруску, прикреплена пружина жесткостью $k = 100$ Н/м. К пружине приложили горизонтально действующую силу (рис. 3.8). Какую работу совершит сила к моменту, когда брусок начнет скользить? Коэффициент трения о плоскость $\mu = 0{,}5$.

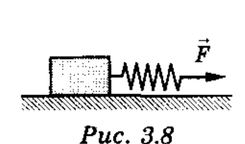


Рис. 3.8



Рис. 3.9

3.104. На горизонтальной поверхности лежит брусок массой $m = 11$ кг. К бруску прикреплена пружина жесткостью $k = 200$ Н/м. Коэффициент трения между бруском и поверхностью $\mu = 0{,}1$. Вначале пружина недеформирована. Затем, приложив к свободному концу пружины силу F

(рис. 3.9), направленную под углом $\alpha = 45°$ к горизонту, брусок медленно переместили на расстояние $s = 50$ см. Какая работа была при этом совершена?

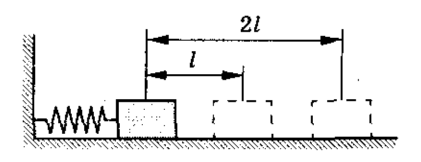


Рис. 3.10

3.105°. На горизонтальной поверхности стола лежит грузик, который прикреплен к стене нерастянутой пружиной (рис. 3.10). Для того чтобы отодвинуть грузик на расстояние $l = 2$ см дальше от стены, необходимо совершить работу не меньше $A = 20$ мДж, а для того, чтобы отодвинуть грузик на расстояние $l_1 = 2l$ от стены, необходимо совершить как минимум в 3 раза бóльшую работу. Чему равен коэффициент жесткости пружины?

3.106°. Два бруска массами m_1 и m_2, соединенные недеформированной легкой пружиной, лежат на горизонтальной плоскости (рис. 3.11). Коэффициент трения между брусками и плоскостью μ. Какую минимальную постоянную силу нужно приложить в горизонтальном направлении к бруску массой m_1, чтобы брусок m_2 сдвинулся с места?

3.107. Санки массой $m = 2$ кг и длиной $l = 1$ м выезжают со льда на асфальт. Коэффициент трения полозьев об асфальт $\mu = 0{,}5$. Какую работу совершит сила трения к моменту, когда санки полностью окажутся на асфальте?

3.108. Тело массой m и длиной l лежит на стыке двух столов (рис. 3.12). Какую работу надо совершить, чтобы перетащить волоком тело с первого стола на второй, если коэффициенты трения между телом и столами μ_1 и μ_2 соответственно?

3.109. Для того чтобы вытащить целую пробку из бутылки (рис. 3.13), нужно совершить работу $A = 2$ Дж. Какую работу нужно совершить, чтобы откупорить бутылку, у которой отломалась и выкрошилась верхняя половина пробки? Пробку считать невесомой.

3.110. На шероховатой горизонтальной поверхности лежит доска длиной l и массой M. Коэффициент трения между доской и поверхностью μ. Какую работу совершает горизонтальная сила при повороте доски на угол $\alpha = 360°$ вокруг вертикальной оси, проходящей через ее середину?

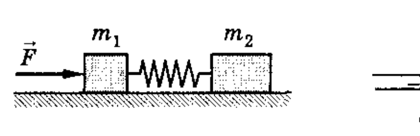


Рис. 3.11

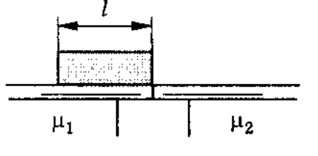


Рис. 3.12

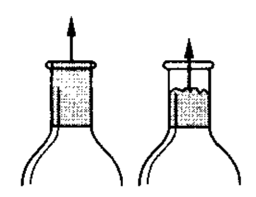


Рис. 3.13

3.111. Какую минимальную работу необходимо совершить, чтобы забить гвоздь длиной $l = 5$ см? Считать, что сила сопротивления пропорциональна глубине погружения гвоздя: $F = kx$, где $k = 10^4$ Н/м. Вес гвоздя не учитывать.

3.112. Чтобы вытащить гвоздь длиной $l = 10$ см из доски, нужно приложить силу не менее чем $F = 500$ Н. Считая, что сила взаимодействия гвоздя с материалом доски пропорциональна погруженной в доску части гвоздя, найти минимальную работу, совершенную при вытаскивании гвоздя. Вес гвоздя не учитывать.

3.113. После первого удара молотком по гвоздю длиной l тот входит в доску на глубину l/k, где $k > 1$. Сколько ударов необходимо сделать, чтобы забить гвоздь полностью? Считать, что сила взаимодействия гвоздя с материалом доски пропорциональна глубине погружения гвоздя.

3.114°. Какова работа силы трения за один оборот аэросаней в «мертвой петле» радиусом R (рис. 3.14)? Движение происходит с постоянной скоростью v, масса саней m, коэффициент трения μ.

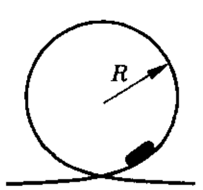


Рис. 3.14

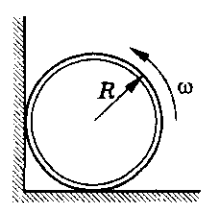


Рис. 3.15

3.115°. Тонкостенный цилиндр радиусом $R = 10$ см раскрутили до угловой скорости $\omega = 50$ рад/с и поставили в угол так, как показано на рисунке 3.15. Коэффициент трения скольжения между стенкой и цилиндром, между полом и цилиндром одинаков и $\mu = 0{,}1$. Сколько полных оборотов сделает цилиндр до остановки?

Кинетическая энергия. Теорема о кинетической энергии

3.116. Какова кинетическая энергия космического корабля серии «Союз» при движении по орбите со скоростью $v = 7{,}8$ км/с, если масса корабля $m = 6{,}6$ т?

3.117. Определить кинетическую энергию метеорита массой $m = 50$ кг, движущегося со скоростью $v = 40$ км/с.

3.118. Во сколько раз изменится кинетическая энергия тела, если его скорость увеличиться в 3 раза?

3.119. Во сколько раз изменится скорость тела, если его кинетическая энергия уменьшится в 4 раза?

3.120. На сколько уменьшится кинетическая энергия тела массой m = 30 кг при изменении его скорости от v_1 = 4 м/с до v_2 = 2 м/с?

3.121. Какую скорость приобрело тело массой m = 50 кг, разогнавшись из состояния покоя, если его кинетическая энергия в конце разгона $E_к$ = 400 Дж?

3.122. Масса самосвала в 18 раз больше массы легкового автомобиля, а скорость самосвала в 6 раз меньше скорости легкового автомобиля. Сравнить импульсы и кинетические энергии автомобилей.

3.123. Импульс тела массой m = 2 кг, движущегося поступательно, в некоторый момент времени равен p = 2 кг · м/с. Чему равна кинетическая энергия тела в этот момент?

3.124. Кинетическая энергия тела массой m = 2 кг в некоторый момент времени $E_к$ = 25 Дж. Чему равен импульс тела в этот момент времени, если оно движется поступательно?

3.125. Определить массу тела, кинетическая энергия которого $E_к$ = = 10 Дж, а импульс p = 2 кг · м/с.

3.126. Импульс тела p = 8 кг · м/с, а кинетическая энергия $E_к$ = 16 Дж. Найти скорость и массу тела.

3.127. Мяч, летящий горизонтально со скоростью v_1 = 10 м/с, отбрасывается ударом ракетки в противоположную сторону со скоростью v_2 = 20 м/с. Определить изменение импульса мяча, если изменение его энергии $\Delta E_к$ = 10 Дж.

3.128. Тело массой m = 0,2 кг бросают вертикально вверх. В начальный момент времени оно обладает энергией $E_к$ = 38,4 Дж. Определить время движения тела вверх. Сопротивлением воздуха пренебречь.

3.129. Самолет массой m = 10 000 кг имеет кинетическую энергию $E_к = 5 \cdot 10^7$ Дж и движется по окружности радиусом R = 1000 м, расположенной в горизонтальной плоскости. Определить центростремительное ускорение самолета.

3.130. Шарик массой m = 100 г, подвешенный на нити длиной l = 40 см, описывает в горизонтальной плоскости окружность. Какова кинетическая энергия шарика, если во время его движения нить образует с вертикалью постоянный угол $\alpha = 60°$?

Механика

3.131°. На тонком обруче укреплены две бусинки массой m каждая (рис. 3.16). Обруч катится без проскальзывания со скоростью v по горизонтальной поверхности. Найти кинетическую энергию каждой бусинки и обеих бусинок в тот момент времени, когда диаметр, соединяющий бусинки, составляет угол α с вертикалью. Чему равна кинетическая энергия обруча, если его масса M?

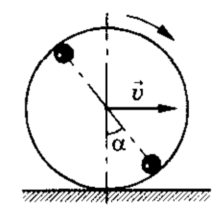


Рис. 3.16

3.132. Автомобиль, начиная движение, разгоняется до скорости v. Сравнить работы, которые совершает двигатель при разгоне до скорости $v/2$ и от скорости $v/2$ до скорости v. Найти эти работы. Масса автомобиля m.

3.133. Сани движутся по снегу прямолинейно до полной остановки. Определить путь, пройденный санями, если их начальная скорость $v = 2$ м/с, а коэффициент трения $\mu = 0{,}05$.

3.134. С какой скоростью двигался поезд массой $m = 1500$ т, если под действием тормозящей силы $F = 150$ кН он прошел до остановки путь $l = 500$ м?

3.135. Каким способом и во сколько раз дальше можно закинуть льдинку: бросив ее в воздух под углом $\alpha = 45°$ к горизонту или бросив ее скользить по льду? Коэффициент трения льдинки о лед $\mu = 0{,}02$. Сопротивлением воздуха пренебречь.

3.136. Самолет садится на палубу авианосца со скоростью v. Зацепившись за упругий канат торможения, он пробегает путь l. Определить максимальную силу, действующую на пилота при посадке, считая, что торможение вызвано только силами упругости каната. Масса пилота m.

3.137. На неподвижное тело массой $m = 0{,}5$ кг начинает действовать постоянная сила $F = 2$ Н. Найти кинетическую энергию, которой будет обладать тело через время $t = 3$ с после начала действия силы.

3.138°. Тело движется в положительном направлении оси X под действием силы $F = \alpha x$, где α — положительная постоянная. В момент времени $t = 0$ тело находится в начале координат и его скорость $v_0 = 0$. Найти зависимость кинетической энергии тела от координаты.

3.139. Деревянную мишень толщиной d удаляют от стрелка со скоростью u. Пуля массой m ($m \ll M$, M — масса мишени) летит со скоростью v_0, пробивает мишень и летит дальше со скоростью v_1. Какова средняя сила сопротивления F_c при движении пули в мишени?

3.140°. Частица массой m попадает в среду, где на нее действует сила торможения. Глубина проникновения частицы в эту область зависит от импульса как $x = \alpha p$, где α — известная постоянная. Найти зависимость силы торможения от глубины проникновения частицы в среду.

3.141*. Модели корабля массой $m = 0,5$ кг сообщили скорость $v_0 = 10$ м/с. При дальнейшем движении на нее действовала сила сопротивления, пропорциональная скорости $F = kv$, где $k = 5$ Н · с/м. Найти: а) путь, пройденный моделью за время, в течение которого ее скорость уменьшится в $\eta = 2$ раза; б) путь, пройденный моделью до полной остановки.

3.142. Брусок, скользящий по гладкой горизонтальной поверхности со скоростью $v = 5$ м/с, наезжает на шероховатую поверхность с коэффициентом трения $\mu = 0,8$. При какой длине бруска его задняя грань остановится на границе гладкой и шероховатой поверхностей?

3.143. Однородный брусок, скользящий по гладкой поверхности, попадает на шероховатую полосу шириной l с коэффициентом трения μ (рис. 3.17). При какой скорости брусок преодолеет эту полосу? Длина бруска $b > l$.

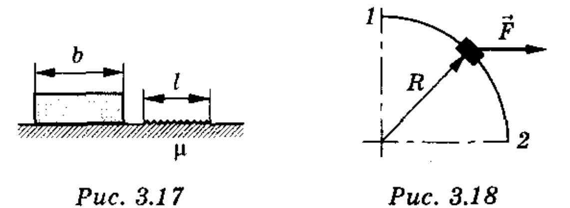


Рис. 3.17 *Рис. 3.18*

3.144. Тело движется в горизонтальной плоскости по окружности радиусом $R = 1$ м, обладая постоянной кинетической энергией $E_к = 18$ Дж. Какова результирующая сила, действующая на тело? Каково ее направление? Чему равна работа этой силы по перемещению тела по окружности?

3.145. Частица массой m движется по окружности радиусом R. Нормальное ускорение частицы зависит от времени по закону $a_n = \alpha t^2$, где α — постоянная. Найти зависимость от времени кинетической энергии частицы.

3.146°. Небольшая муфточка массой $m = 0,15$ кг движется по гладкому проводу, изогнутому в горизонтальной плоскости в виде дуги окружности радиусом $R = 50$ см (рис. 3.18, вид сверху). В точке *1*, где скорость муфточки $v_0 = 7,5$ м/с, на нее начинает действовать постоянная горизонтальная сила F. Найти скорость муфточки в точке *2*, если $F = 30$ Н.

Потенциальная энергия. Закон сохранения механической энергии

3.147. Прямоугольный параллелепипед массой m, длина ребер которого l, $2l$, $4l$, кладут на одну из трех граней разной площади поочередно. Какова потенциальная энергия параллелепипеда относительно поверхности стола в каждом из этих положений? Какое положение параллелепипеда является наиболее устойчивым?

3.148. На полу лежат куб и шар одинаковой массы, сделанные из стали. Их подняли до соприкосновения с потолком. Одинаково ли изменилась при этом их потенциальная энергия?

3.149. Три шарика, массы которых $m_1 = 10$ г, $m_2 = 20$ г и $m_3 = 30$ г, расположены так, как показано на рисунке 3.19. Шарик m_1 находится на высоте $h_1 = 1$ м над поверхностью земли, шарик m_2 находится в яме глубиной $h_2 = 1$ м. Найти потенциальную энергию каждого шарика относительно: а) уровня, на котором находится шарик m_2; б) уровня, на котором находится шарик m_3. Размеры шариков не учитывать.

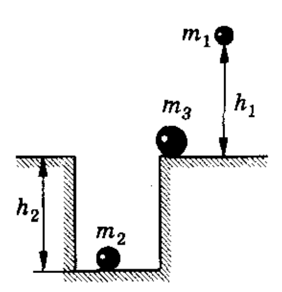


Рис. 3.19

3.150. Вертолет массой $m = 2000$ кг находится на высоте $h_1 = 20$ м. На какой высоте его потенциальная энергия возрастет на $\Delta E_п = 600$ кДж?

3.151. Какой станет потенциальная энергия пружины, если ее из недеформированного состояния растянуть на $\Delta x = 10$ см? Коэффициент жесткости пружины $k = 100$ Н/м.

3.152. Пружину, жесткость которой $k = 200$ Н/м, растянули на 1/3 ее длины, длина пружины в недеформированном состоянии $l_0 = 30$ см. Найти потенциальную энергию пружины.

3.153. При растяжении недеформированной пружины на $\Delta x = 8$ см ее потенциальная энергия стала $E_п = 4$ Дж. Определить коэффициент жесткости пружины.

3.154. Пружину из недеформированного состояния растянули сначала на $\Delta x_1 = 10$ см, потом на $\Delta x_2 = 20$ см (рис. 3.20). Коэффициент жесткости пружины $k = 1000$ Н/м. На сколько потенциальная энергия пружины во втором состоянии больше, чем в первом?

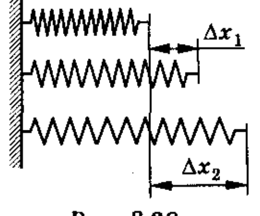


Рис. 3.20

3.155. Пружину из недеформированного состояния растянули на $\Delta x = 10$ см, затем сжали на $\Delta x = 10$ см (рис. 3.21). Сравнить потенциальную энергию деформированной пружины в первом и во втором состояниях.

3.156. Определить отношение потенциальных энергий $E_{п1}$ и $E_{п2}$ двух пружин с коэффициентами упругости k_1, k_2 в двух случаях: а) пружины соединены последовательно и растягиваются грузом P (рис. 3.22, *а*); б) пружины висят параллельно, причем груз подвешен так, что обе пружины растягиваются на одну и ту же величину (рис. 3.22, *б*).

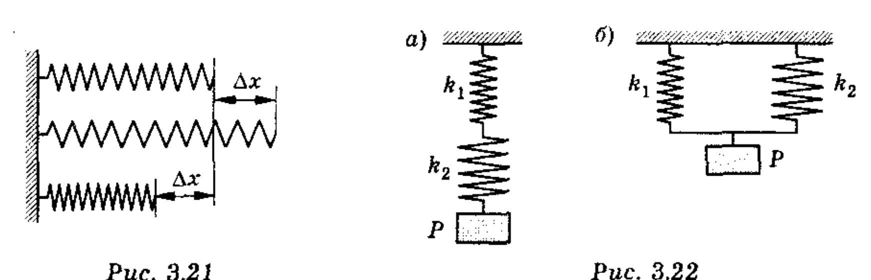


Рис. 3.21 *Рис. 3.22*

3.157. Тело брошено вертикально вверх с начальной скоростью $\upsilon = 3$ м/с. На какой высоте его кинетическая энергия будет равна потенциальной? Сопротивление воздуха не учитывать.

3.158. Тело массой $m = 1$ кг брошено с поверхности земли вертикально вверх с начальной скоростью $\upsilon_0 = 19{,}6$ м/с. Определить изменение потенциальной энергии тела за промежуток времени $t_1 = 2$ с после броска. Построить графики зависимости $\upsilon_y(t)$ и $E_п(t)$. Сопротивление воздуха не учитывать.

3.159°. Тело массой m брошено со скоростью υ_0 под углом α к горизонту с высоты h. Найти зависимость потенциальной и кинетической энергии от времени полета. Показать, что в этом случае выполняется закон сохранения механической энергии. В какой момент времени кинетическая энергия тела равна его потенциальной энергии? При каких начальных условиях это возможно? Сопротивление воздуха не учитывать.

3.160°. Под углом $\alpha = 30°$ к горизонту произведен выстрел. Масса пули $m = 10^{-2}$ кг, ее скорость $\upsilon_0 = 10^3$ м/с. Найти зависимость мощности силы тяжести от времени, а также среднюю мощность этой силы в процессе подъема пули до верхней точки траектории. Сопротивление воздуха не учитывать.

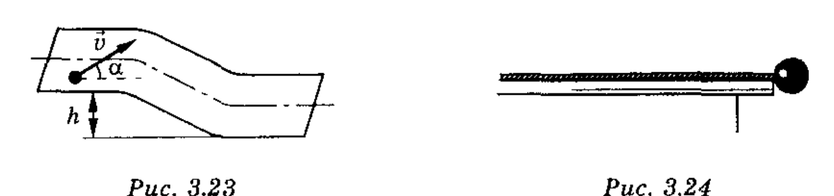


Рис. 3.23 Рис. 3.24

3.161°. Тело не отрываясь скользит без трения по поверхности, между горизонтальными частями которой перепад высот h (рис. 3.23). На верхней части поверхности скорость тела v и угол между скоростью и осевой линией α. Каким будет угол β между скоростью и осевой линией на нижней части поверхности?

3.162°. Небольшой по размеру груз массой m_1 прикреплен к веревке длиной l и массой m_2, лежащей на гладком горизонтальном столе (рис. 3.24). Под тяжестью груза веревка начинает соскальзывать со стола. Какова будет скорость веревки, когда она полностью соскользнет со стола?

3.163. Водосливная плотина Волжской ГЭС во время паводков может пропустить ежесекундно воду объемом $V = 45\,000$ м^3. Зная, что высота плотины $h = 25$ м, определить мощность водяного потока.

3.164. Определить полезную мощность водяного двигателя с КПД $\eta = 20\%$, если вода падает на его лопасти с высоты $H = 5$ м. Начальная скорость воды на этой высоте $v_0 = 1$ м/с. У воды, выходящей из двигателя, скорость $v = 2$ м/с, а ежесекундный расход воды $Q = 2$ м^3/с.

3.165. Вертолет, масса которого с грузом $m = 6 \cdot 10^3$ кг, за время $t = 15$ с набрал высоту $H = 225$ м. Определить полезную работу двигателя за это время, считая подъем вертолета равноускоренным.

3.166. Прямоугольная яма, площадь основания которой S и глубина H, наполовину заполнена водой. Насос выкачивает воду и подает ее на поверхность земли через цилиндрическую трубу радиусом R. Какую минимальную работу совершил насос и какова его мощность, если он выкачал всю воду за время t? Каков КПД насоса?

3.167°. Через два блока переброшена нить, к концам которой прикреплены грузы массой m каждый (рис. 3.25). К середине нити подвешивают груз массой M, который начинает падать. Определить наибольшее расстояние H_{max}, на которое опустится груз M, считая, что длина нити достаточно велика и $M < 2m$. Расстояние между блоками $2l$. Трения в системе нет.

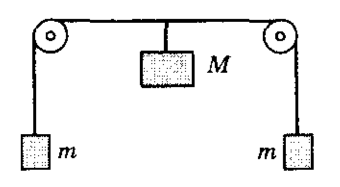


Рис. 3.25

3.168. Найти скорость груза массой $m_1 = 2$ кг (рис. 3.26) в тот момент времени, когда он прошел путь $s = 2$ м. Считать, что блоки невесомы, трение отсутствует, нить невесома и нерастяжима, а масса груза $m_2 = 1$ кг.

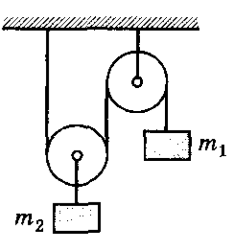


Рис. 3.26

3.169. Христиан Гюйгенс считал: если шар вращать на нерастяжимой и невесомой нити в вертикальной плоскости, то нить должна выдерживать силу натяжения, равную, по крайней мере, ушестеренной силе тяжести шара. Верно ли это утверждение?

3.170. На нити висит груз массой m. Нить отвели на угол α_0 и отпустили. Найти силу натяжения нити T как функцию угла α. В каких точках траектории ускорение груза перпендикулярно направлению нити?

3.171. На нити висит груз массой $m = 0{,}2$ кг. Нить разрывается при силе натяжения $T = 2{,}94$ Н. Нить с грузом отклоняют на угол $\alpha = 90°$ и отпускают. Определить угол между нитью и вертикалью в тот момент, когда она разорвется.

3.172. Нить маятника налетает на гвоздь, вбитый на расстоянии a под точкой подвеса (рис. 3.27). Найти максимальное натяжение нити. Длина нити l, начальный угол отклонения α_0.

3.173. Труба газопровода имеет радиус $R = 0{,}9$ м. С верхней точки трубы A соскальзывает льдинка. В некоторой точке трубы B льдинка отрывается от ее поверхности. Какова разница высот Δh точек A и B?

3.174. Шайба массой $m = 10$ г продета сквозь проволочное кольцо радиусом $R = 6$ см (рис. 3.28). Шайбу выводят из положения равновесия, и она начинает скользить по кольцу без трения с начальной скоростью равной нулю. Чему равна сила давления шайбы на кольцо на высоте $H = 10$ см?

3.175. Шарик может скользить по желобу, изображенному на рисунке 3.29. С какой минимальной высоты H должен соскальзывать шарик, чтобы он в течение одного полного оборота не оторвался от поверхности желоба? Радиус закругления желоба равен R.

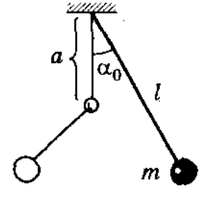


Рис. 3.27

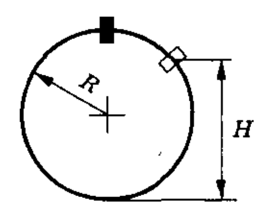


Рис. 3.28

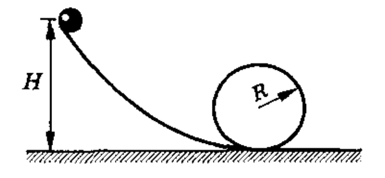


Рис. 3.29

3.176. Тело соскальзывает по желобу, имеющему разрыв в верхней части (рис. 3.30). Радиусы желоба R, идущие к краям разрыва, образуют угол 2α. С какой наименьшей высоты H относительно краев разрыва должно начать скользить тело, чтобы пролетев разрыв, снова попасть на желоб?

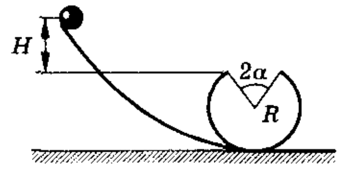


Рис. 3.30

3.177°. Шарик, прикрепленный к нити длиной l, отвели в горизонтальное положение и отпустили. На какую максимальную высоту h сможет подняться шарик, если при прохождении шариком положения равновесия нить налетает на гвоздь, находящийся от точки подвеса на расстоянии, равном половине длины нити (рис. 3.31)?

3.178°. К концу горизонтального стержня прикреплен на нити длиной $l = 1$ м маленький шарик (рис. 3.32). Какую наименьшую скорость v_0 нужно сообщить шарику в горизонтальном направлении, чтобы он ударился о стержень в точке крепления нити A?

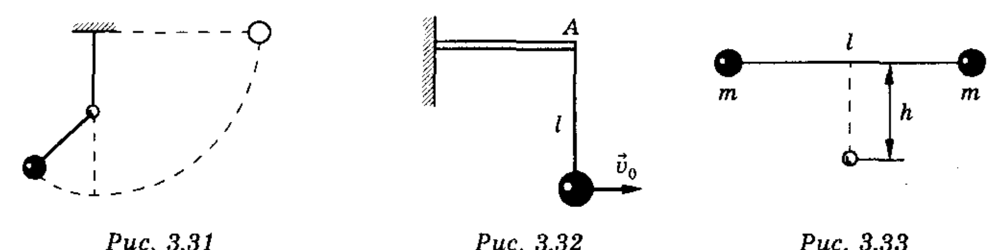


Рис. 3.31 *Рис. 3.32* *Рис. 3.33*

3.179. С цилиндра радиусом R начинает соскальзывать без трения система из двух точечных масс m и M, связанных невесомой нитью длиной $l = \pi R$. В начальный момент массы находятся на одном уровне. Какой должна быть масса M, чтобы тело массой m сорвалось с цилиндра в верхней точке?

3.180. Два шарика одинаковой массы m, соединенные нерастяжимой нитью длиной l, падают с высоты h так, что нить своей средней точкой налетает на горизонтально расположенный гвоздь (рис. 3.33). Какой должна быть высота h, чтобы нить оборвалась в момент удара нити о гвоздь? Предельное натяжение нити T_0. Сопротивление воздуха не учитывать.

3.181. На невесомом стержне укреплены два одинаковых маленьких шарика таким образом, что $OB = BC = l$ (рис. 3.34). Начальный угол отклонения стержня равен α, начальная скорость равна нулю. Найти угловую скорость стержня в момент прохождения им положения равновесия.

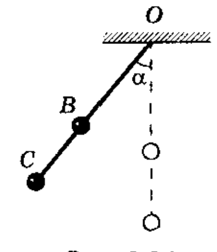


Рис. 3.34

3.182. На поверхности земли шарнирно закреплена легкая штанга длиной $l_1 + l_2$. На верхнем конце штанги укреплен груз массой m_1, на расстоянии l_2 от нижнего конца — груз массой m_2 (рис. 3.35). Начальное положение штанги вертикальное. С какой скоростью груз m_1 коснется земли, если штанга начнет падать?

3.183. На тонкий шкив с горизонтальной осью вращения намотана нерастяжимая нить, к концу которой подвешен груз массой m (рис. 3.36). Масса обода шкива M, массой спиц и нити можно пренебречь. В начальный момент времени система неподвижна. Какой скоростью будет обладать груз после того, как пройдет расстояние s?

3.184. Найти скорости грузов в системе, изображенной на рисунке 3.37, если известно, что груз m_1 прошел расстояние s_1. Радиусы блока R и r, масса второго груза m_2. Начальная скорость системы равна нулю. Трение отсутствует. Блок невесом, нити невесомы и нерастяжимы.

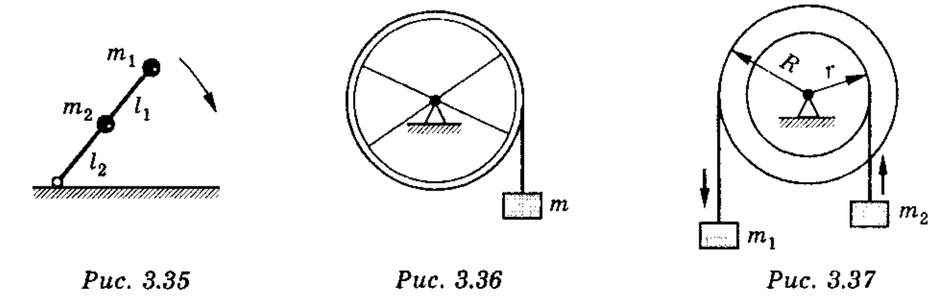


Рис. 3.35 *Рис. 3.36* *Рис. 3.37*

3.185. Тело массой m подвешено к потолку с помощью пружины жесткостью k. Какой максимальной скорости достигнет тело, если его отпустить из положения, в котором пружина не растянута?

3.186. Если на верхний конец вертикально расположенной пружины положить груз, то пружина сожмется на расстояние x_0 = 3 мм. На сколько изменится длина пружины, если тот же груз упадет на пружину с высоты h = 8 см?

3.187. Гладкую горизонтальную штангу можно вращать вокруг вертикальной оси, проходящей через конец O (рис. 3.38). На штанге находится небольшая муфта массой m, соединенная с концом O пружиной. Если штангу вращать с угловой скоростью ω, то растяжение пружины будет x. Определить кинетическую энергию тела и потенциальную энергию пружины. Длина пружины в нерастянутом состоянии l. При каком условии возможно такое движение?

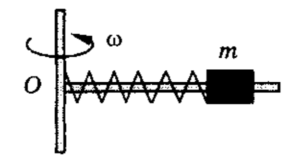


Рис. 3.38

3.188°. Гладкий легкий горизонтальный стержень может вращаться без трения вокруг вертикальной оси, проходящей через его конец O, (см. рис. 3.38). На стержне находится небольшая муфточка массой m, соединенная пружиной с концом O. Длина недеформированной пружины l_0 в нерастянутом состоянии. Жесткость пружины k. Какую работу A нужно совершить, чтобы медленно раскрутить эту систему до угловой скорости ω ($\omega^2 < k/m$)?

3.189°. На невесомом резиновом шнуре длиной $l = 1$ м закреплено тело массой $m = 0{,}5$ кг. Тело отвели в горизонтальное положение не деформируя шнур. На сколько растянется шнур, когда тело будет проходить нижнюю точку траектории? Жесткость шнура $k = 50$ Н/м.

3.190. Оценить, на какую высоту поднимется стрела, выпущенная из лука вертикально вверх. Масса стрелы $m = 20$ г, длина тетивы $l = 1$ м. Тетиву оттягивают на расстояние $h_0 = 5$ см. Сила натяжения тетивы постоянна и равна $T = 250$ Н. Считать, что прогиб тетивы много меньше ее длины. Сопротивление воздуха не учитывать.

3.191. Акробат прыгнул с трапеции на батут, который при этом прогнулся на расстояние $h = 1$ м. Высота трапеции над батутом $H = 4$ м. На сколько прогнется батут, если акробат будет стоять на нем?

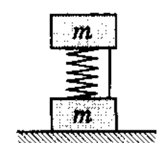


Рис. 3.39

3.192°. Система состоит из двух одинаковых кубиков массой m каждый, между которыми находится сжатая пружина жесткостью k (рис. 3.39). Кубики связаны нитью, которую в некоторый момент пережигают. При каких значениях Δl — начального сжатия пружины — нижний кубик подскочит после пережигания нити?

Закон сохранения энергии

3.193. Тело массой $m = 3$ кг падает вертикально вниз без начальной скорости. Вычислить работу против сил сопротивления, совершенную в течение времени $t = 10$ с, если известно, что в конце этого промежутка времени тело имело скорость $v = 80$ м/с. Силу сопротивления считать постоянной.

3.194. Тело, брошенное с высоты $H = 5$ м вертикально вниз со скоростью $v = 20$ м/с, погрузилось в грунт на глубину $h = 20$ см. Найти работу силы сопротивления грунта, если масса тела $m = 2$ кг. Сопротивлением воздуха пренебречь.

3.195. Тело массой m бросили горизонтально со скоростью v с некоторой высоты h. Через какое-то время тело приблизилось к поверхности земли до расстояния Δh, а его кинетическая энергия в этот момент стала $E_к$. Определить работу сил трения за это время.

3.196. Тело массой m, брошенное под углом к горизонту, упало на расстоянии l от места бросания. Максимальная высота подъема тела h, сопротивление воздуха не учитывать. Найти работу, совершенную при бросании тела.

3.197. Санки съезжают с горы высотой H и углом наклона α и движутся далее по горизонтальному участку. Коэффициент трения на всем пути одинаков и равен μ. Определить расстояние s, пройденное санками по горизонтальному участку до полной остановки.

3.198. С горки высотой $h = 2$ м съехали санки массой $m = 3$ кг и остановились, пройдя некоторое расстояние. Какую наименьшую работу нужно совершить, чтобы поднять санки по тому же пути до первоначального положения? Профиль горки такой, что касательная к нему в любой точке составляет острый угол с горизонтом.

3.199. Для подъема тела по наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30°$ необходимо совершить минимальную работу $A = 6$ Дж. Какое количество тепла при этом выделяется, если коэффициент трения $\mu = 0{,}1$?

3.200. Автомобиль с работающим двигателем въезжает на обледенелую гору, поверхность которой образует угол α с горизонтом. Какой высоты гору может преодолеть автомобиль, если его начальная скорость при въезде равна v_0, а коэффициент трения колес о лед $\mu < \operatorname{tg} \alpha$?

3.201. Тело начинает двигаться вверх по наклонной плоскости со скоростью $v_0 = 10$ м/с. На высоте $h = 1$ м оно упруго ударяется о преграду (рис. 3.40). Определить скорость тела в момент, когда оно вновь окажется у основания наклонной плоскости. Угол наклона плоскости к горизонту $\alpha = 30°$, коэффициент трения $\mu = 0{,}3$.

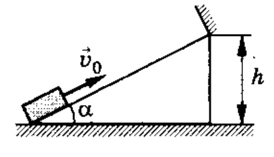


Рис. 3.40

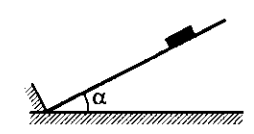


Рис. 3.41

3.202. По плоскости с углом наклона $\alpha = 45°$ соскальзывает шайба и в конце спуска упруго ударяется о стенку, перпендикулярную наклонной плоскости (рис. 3.41). На какую высоту h снова поднимется шайба по плоскости, если первоначально она находилась на высоте $H = 0{,}6$ м? Коэффициент трения шайбы о плоскость $\mu = 0{,}2$.

3.203°. Цепочка массой $m = 0{,}8$ кг и длиной $l = 1{,}5$ м лежит так, что один конец ее свешивается с края стола. Цепочка начинает соскальзывать, когда свешивающаяся часть составляет $\eta = 1/3$ ее длины. Какую скорость будет иметь цепочка и какую работу совершит сила трения, действующая на нее, при полном соскальзывании цепочки со стола?

3.204°. Под действием подвешенного груза длина пружины изменилась от l_0 до l. Потянув рукой за середину пружины, удлинение ее верхней половины довели до $l - l_0$. После этого руку убрали. В пружине возникли колебания. Какое количество тепла выделится в системе после затухания колебаний? Коэффициент жесткости пружины равен k.

3.205°. На наклонной плоскости лежит брусок, соединенный пружиной с неподвижной опорой (рис. 3.42). Из положения, когда пружина недеформирована, брусок без начальной скорости отпускают, и он начинает скользить вниз. Определить максимальное растяжение пружины. Масса бруска $m = 0{,}5$ кг, жесткость пружины $k = 120$ Н/м, угол наклона плоскости к горизонту $\alpha = 45°$, коэффициент трения бруска о плоскость $\mu = 0{,}5$.

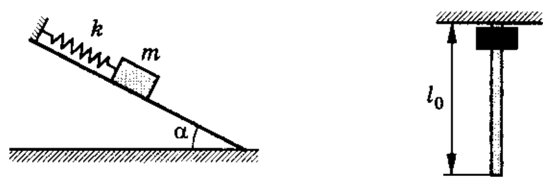


Рис. 3.42 *Рис. 3.43*

3.206°. Вдоль невесомого упругого шнура соскальзывает железная шайба (рис. 3.43). Сила трения между шнуром и шайбой постоянна и равна F. Определить количество теплоты Q, выделившейся при соскальзывании шайбы. Длина шнура в недеформированном состоянии l_0. Жесткость шнура k.

Столкновения

3.207. Неподвижная частица распадается на две части массами m_1 и m_2. Полная кинетическая энергия частей равна $E_к$. Определить скорости и указать направление разлета этих частей.

3.208. Два тела, находящиеся на гладкой горизонтальной поверхности, соединены сжатой пружиной. Энергия пружины $E = 3$ Дж, массы тел $m_1 = 1$ кг и $m_2 = 2$ кг. С какими скоростями будут двигаться тела после освобождения пружины?

3.209. Снаряд при вертикальном выстреле достигает высшей точки полета $H = 3$ км и разрывается на две части, имеющие массы $m_1 = 3$ кг и $m_2 = 2$ кг. Осколки продолжают двигаться по вертикали — первый вниз, второй вверх. Найти скорости осколков через время $t = 2$ с после разрыва, если их полная механическая энергия непосредственно после разрыва $E = 247$ кДж.

3.210. Мальчик, опираясь о барьер, бросает камень горизонтально со скоростью $v_1 = 5$ м/с. Масса мальчика $M = 49$ кг, масса камня $m = 1$ кг. Какую скорость он может сообщить камню, если будет бросать его с прежней силой, стоя на коньках на гладком льду?

3.211. На краю неподвижной четырехколесной платформы стоит человек. Он спрыгивает с платформы, которая откатывается на расстояние $l = 1$ м. Массы человека и платформы одинаковы $m_1 = m_2 = 60$ кг. Коэффициент трения колес платформы о пол $\mu = 0{,}1$. Какую энергию затратил человек при прыжке? Сила трения между колесами платформы и полом мала по сравнению с силой взаимодействия человека и платформы при прыжке.

3.212. Пуля массой m, летящая со скоростью u под углом α к горизонту, попадает в брусок массой M, лежащий на плоскости (рис. 3.44), и застревает в нем. Найти расстояние s, пройденное бруском до остановки, если коэффициент трения бруска о плоскость μ.

3.213. Небольшому грузу массой $m = 600$ г, лежащему на длинной горизонтальной доске массой $M = 1$ кг, сообщили скорость $v = 3$ м/с, направленную вдоль доски (рис. 3.45). Найти работу сил трения к моменту, когда груз перестанет скользить по доске. Трения между доской и плоскостью нет.

3.214°. На гладкой горизонтальной плоскости находится тело массой M и на нем небольшая шайба массой m (рис. 3.46). Шайбе сообщили в горизонтальном направлении скорость v. На какую высоту h (по сравнению с первоначальным уровнем) она поднимется после отрыва от тела M? Трение не учитывать.

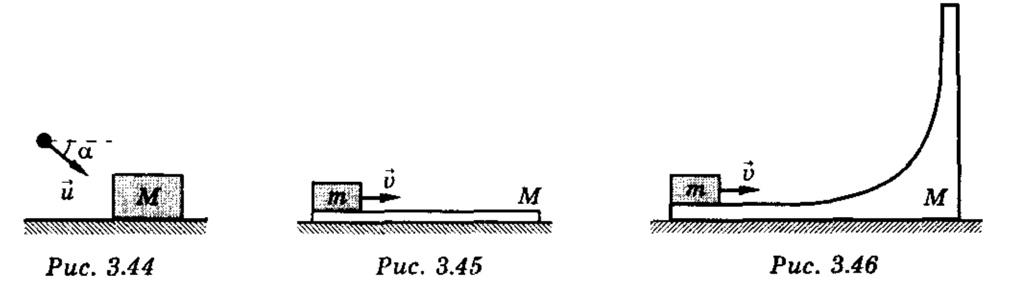


Рис. 3.44 Рис. 3.45 Рис. 3.46

3.215°. Тележка массой $M = 5$ кг стоит на гладкой горизонтальной поверхности. На тележке укреплен математический маятник массой $m = 1$ кг и длиной $l = 1$ м. В начальный момент времени система неподвижна, а нить маятника составляет с вертикалью угол $\alpha = 45°$ (рис. 3.47). Найти скорость тележки в момент, когда маятник будет проходить через положение равновесия. Какова в этот момент угловая скорость маятника?

3.216°. На пути тела массой m, скользящего по гладкой горизонтальной плоскости, находится покоящаяся горка (рис. 3.48) высотой $h = 1$ м и массой $M = 4{,}4m$, которая может скользить по плоскости без трения. При какой минимальной скорости тело сможет преодолеть горку? Тело движется по горке без трения.

3.217°. Маленькая шайба массой $m = 50$ г соскальзывает с вершины тела массой $M = 1$ кг, находящегося на гладком горизонтальном столе (рис. 3.49). Угол наклона плоскости AB к горизонту равен $\alpha = 30°$, расстояния $h_1 = h_2 = 20$ см. Через какое время после начала движения шайба достигнет поверхности стола? В начальный момент времени система неподвижна. Трения между шайбой и телом нет.

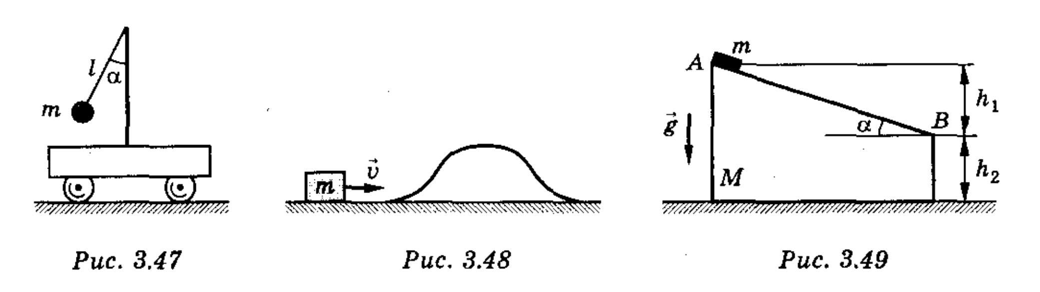


Рис. 3.47 *Рис. 3.48* *Рис. 3.49*

3.218. Мимо наблюдателя равномерно и прямолинейно со скоростью $v = 2$ м/с движется тележка массой $M = 100$ кг. В тот момент, когда тележка поравняется с наблюдателем, он кладет на нее ящик массой $m = 5$ кг. Определить энергию, которая в этом процессе переходит в тепло.

3.219°. Шар массой $m_1 = 4$ кг движется со скоростью $v_1 = 5$ м/с навстречу шару массой $m_2 = 1$ кг. После центрального неупругого удара общая скорость шаров оказалась $u = 3$ м/с. Определить начальную скорость второго шара и изменение внутренней энергии шаров.

3.220*. Молотком массой M забивают гвоздь массой m. Определить отношение масс m/M, при котором молоток передает гвоздю максимальную энергию неупругого удара.

3.221. Сваю массой $m = 100$ кг забивают в грунт копром массой $M = 400$ кг. Копер свободно падает с высоты $H = 5$ м, и при каждом его ударе свая опускается на глубину $h = 25$ см. Определить силу сопротивления грунта, считая ее постоянной, и КПД неупругого удара копра о сваю.

3.222. Пуля, масса которой m, пробивает ящик массой M, стоящий на плоскости. Пуля подлетает к ящику со скоростью v, а вылетает из него со скоростью $v/2$. Какое количество теплоты выделится при движении пули в ящике? Начальную и конечную скорости пули считать горизонтальными.

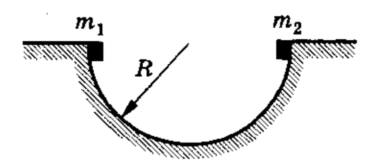
3.223. Из духового ружья стреляют в спичечную коробку, лежащую на расстоянии $l = 30$ см от края стола. Пуля массой $m = 1$ г, летящая горизонтально со скоростью $v_0 = 150$ м/с, пробивает коробку и вылетает из нее со скоростью $0{,}6v_0$. Масса коробки $M = 50$ г. При каком коэффициенте трения между коробкой и столом коробка упадет со стола?

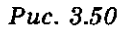
3.224. Два небольших тела, отношение масс которых равно 3, одновременно начинают соскальзывать внутрь полусферы радиусом R (рис. 3.50). Происходит абсолютно неупругий удар. Определить максимальную высоту подъема тел после удара.

3.225. Пластмассовый шар массой M лежит на подставке с отверстием. Снизу в шар через отверстие попадает вертикально летящая пуля массой m и пробивает его насквозь. При этом шар подскакивает на высоту h. На какую высоту H над подставкой поднимется пробившая шар пуля, если ее скорость перед попаданием была v_0?

3.226. С высоты H без начальной скорости падает шар массой M. На высоте $H/2$ в шар попадает пуля массой $m << M$, имеющая в момент удара горизонтальную скорость v, и застревает в нем. С какой скоростью u шар упадет на землю?

3.227. Ящик с песком массой $M = 10$ кг стоит на гладкой горизонтальной плоскости. Он соединен с вертикальной стеной пружиной жесткостью $k = 200$ Н/м (рис. 3.51). На сколько сожмется пружина, если пуля, летящая горизонтально со скоростью $v = 500$ м/с, попадет в ящик и застрянет в нем? Масса пули $m = 0{,}01$ кг.




Рис. 3.50

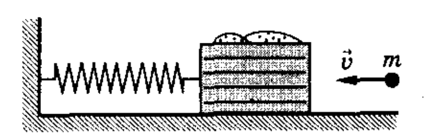


Рис. 3.51

3.228°. Мяч падает с высоты $h = 2$ м на горизонтальный пол. После каждого удара он сохраняет $\eta = 81\%$ энергии. Через какое время мяч полностью остановится?

3.229. Какую минимальную работу нужно совершить бросая мяч вертикально вниз, чтобы после n ударов о пол он поднялся до первоначальной высоты, равной h? При каждом ударе скорость уменьшается на η %. Масса мяча m. Трение о воздух не учитывать.

3.230°. При ударе об идеально гладкую горизонтальную поверхность шарик теряет третью часть своей кинетической энергии. Зная, что угол падения шарика $\alpha = 45°$, найти угол, который составляет скорость шарика с вертикалью после удара.

3.231. На легкий барабан радиусом $R = 5$ см с горизонтальной осью вращения намотана невесомая нерастяжимая нить, на которой подвешен груз массой $4m$. На барабане укреплены четыре легкие спицы длиной $l = 20$ см с шариками массой m на концах (рис. 3.52). Первоначально груз удерживают на высоте $h = 1$ м над полом. Затем груз отпускают и система приходит и движение. Когда груз касается пола, нить продолжает сматываться с барабана, а затем вновь наматываться на него. На какую максимальную высоту от пола поднимется груз? Трения в системе нет, удар груза о пол считать неупругим.

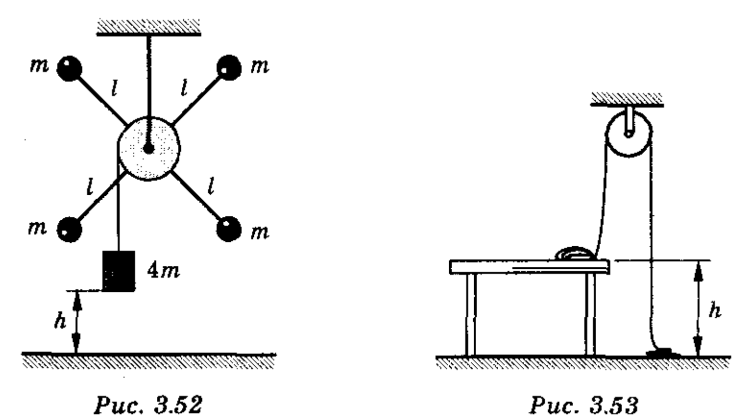


Рис. 3.52 *Рис. 3.53*

3.232°. Мягкий нерастяжимый канат перекинут через блок, причем часть каната лежит на столе, а часть — на полу (рис. 3.53). После того как канат отпустили, он начал двигаться. Найти установившуюся скорость движения каната. Высота стола h.

3.233. Два шара массой $m_1 = 1$ кг и $m_2 = 2$ кг движутся поступательно вдоль горизонтальной прямой в одном направлении со скоростями $v_1 = 7$ м/с и $v_2 = 1$ м/с. Определить скорости шаров после лобового абсолютно упругого удара.

3.234°. Шар массой m, движущийся поступательно со скоростью v, ударяется о неподвижный шар массой M. Происходит абсолютно упругий центральный удар. Определить отношение масс M/m, при котором налетающий шар теряет максимальную часть своей кинетической энергии. Чему равно изменение кинетической энергии первого шара в этом случае?

3.235. Частица массой m налетает на неподвижную мишень массой M и отражается назад с кинетической энергией в $n = 4$ раза меньшей первоначальной. Определить отношение массы частицы к массе мишени, считая удар абсолютно упругим.

3.236. Два шарика массой m_1 и m_2 движутся со скоростями v_1 и v_2 навстречу друг другу. Происходит абсолютно упругий центральный удар. Найти максимальную потенциальную энергию упругой деформации шариков.

3.237. В момент наибольшего сближения тел при упругом взаимодействии их скорость одинакова и равна v. Каковы скорости этих тел u_1 и u_2 после разлета, если до взаимодействия их скорости были соответственно v_1 и v_2? Тела движутся навстречу друг другу вдоль одной прямой.

3.238°. Тела массами m_1 и m_2 связаны недеформированной пружиной, жесткостью k и лежат на гладком столе. Определить наименьшую скорость v_1, которую необходимо сообщить телу массой m_1, чтобы пружина сжалась на величину x. Какими будут скорости тел u_1 и u_2, когда пружина снова окажется недеформированной?

3.239. N одинаковых шаров расположены вдоль одной прямой (не касаясь друг друга). Крайний левый шар вследствие удара начинает двигаться вправо со скоростью v. Считая все удары шаров центральными и абсолютно упругими, найти скорость правого шара.

3.240°. Три шарика лежат на горизонтальной поверхности вдоль одной прямой. Первому шарику сообщили скорость v_1, после чего произошли два абсолютно упругих центральных удара. Массы первого и третьего шаров равны соответственно m_1 и m_2. Какова должна быть масса второго шара, чтобы в результате ударов третий шар получил максимально возможную скорость v? Найти эту скорость.

3.241°. Движущаяся со скоростью v частица сталкивается с такой же неподвижной частицей. Происходит центральный удар. В результате столкновения суммарная кинетическая энергия обеих частиц уменьшается в k раз по сравнению с первоначальной. Определить допустимые значения k. Каков характер взаимодействия, если: а) $k = 1$; б) $k = 2$?

3.242°. Нейтроны, сталкиваясь с атомами некоторого элемента, при абсолютно упругом центральном ударе теряют часть своей энергии. Считая, что масса атома данного элемента в η раз превышает массу нейтрона и пренебрегая кинетической энергией теплового движения атомов (до удара), определить, за сколько последовательных столкновений n энергия нейтрона уменьшится в k раз? На основании полученного результата объяснить, почему для замедления быстрых нейтронов используют не свинец, а тяжелую воду. (Эти вещества не поглощают нейтроны.)

3.243°. Две ступени одинаковой высоты h находятся на расстоянии l друг от друга. На краю одной ступеньки лежит маленький шарик (рис. 3.54). Тело, масса которого много больше массы шарика, налетает на шарик и сталкивает его со ступеньки. С какой скоростью v должно двигаться тело, чтобы шарик после удара попал на вторую ступеньку? Все соударения абсолютно упругие. Сопротивление воздуха не учитывать.

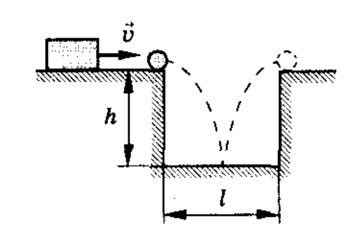


Рис. 3.54

3.244. Шар абсолютно упруго сталкивается с таким же покоящимся шаром. Под каким углом они разлетятся? Удар нецентральный.

3.245. Шар, движущийся со скоростью $v = 2$ м/с, налетает на неподвижный точно такой же шар. В результате упругого столкновения шар изменил направление движения на угол $\alpha = 30°$. Определить: а) скорости шаров после удара; б) угол между направлением скорости второго шара и первоначальным направлением движения первого шара.

3.246. Нейтрон испытал упругое соударение с первоначально покоившимся дейтроном. Определить долю кинетической энергии, теряемой нейтроном при рассеянии под прямым углом. Масса покоя нейтрона m, дейтрона — $2m$.

3.247°. После упругого столкновения частицы *1* с покоившейся частицей *2* обе частицы разлетелись симметрично относительно первоначального направления движения частицы *1*, и угол между их направлением разлета $\theta = 60°$. Найти отношение масс этих частиц.

3.248°. Частица массой m_1 упруго сталкивается с покоящейся частицей массой m_2 и отклоняется на угол α от первоначального направления движения. Первоначально покоившаяся частица отлетает под углом β к тому же направлению. Доказать, что отношение масс частиц m_1/m_2 определяется только углами α и β.

3.249°. Частица массой m движется со скоростью v и сталкивается с неподвижной частицей массой M. В результате упругого удара частица массой m отклонилась на угол $\alpha = \pi/2$ от направления своего первоначального движения и ее скорость уменьшилась вдвое. Найти отношение масс частиц. Определить модуль и направление скорости движения частицы массой M.

3.250°. Шарик массой m_1 сталкивается с неподвижным шариком массой m_2 ($m_1 > m_2$). Происходит абсолютно упругий удар. Найти максимальный угол, на который может отклониться шарик массой m_1.

3.251. Деревянный шар массой $m = 1{,}99$ кг висит на невесомой нерастяжимой нити. В него попадает (и застревает в его центре) пуля, летящая горизонтально со скоростью $v = 600$ м/с. Масса пули $m_1 = 10$ г. Найти максимальную высоту, на которую поднимается шар и долю кинетической энергии пули, перешедшую в тепло.

3.252. Пуля массой $m = 5$ г, имеющая скорость $v = 500$ м/с, попадает в шар массой $M = 0{,}5$ кг, подвешенный на нити, и застревает в нем (рис. 3.55). При какой наибольшей длине нити шар совершит полный оборот по окружности? Как изменится ответ, если нить заменить на невесомый стержень?

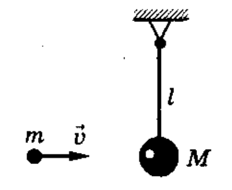


Рис. 3.55

3.253. В шар, подвешенный на нити длиной $l = 0{,}4$ м, масса которого $M = 5$ кг, попадает пуля массой $m = 20$ г, летящая с горизонтальной скоростью $v_1 = 1000$ м/с. Пройдя через шар, она продолжает движение в том же направлении со скоростью $v_2 = 500$ м/с. На какой угол от вертикали отклонится шар?

3.254. В маленькую металлическую пластинку массой $M = 0{,}2$ кг, подвешенную на нити длиной $l = 1$ м, абсолютно упруго ударяет шарик массой $m = 10$ г, летящий горизонтально. Вычислить импульс шарика до удара, если после удара нить отклонилась на угол $\alpha = 60°$.

3.255. Два одинаковых пластилиновых шарика подвешены на нитях так, что касаются друг друга (рис. 3.56). Левый шарик отклоняют влево на угол α_1, а правый вправо на угол α_2 и одновременно отпускают без начальной скорости. На какой угол φ отклонятся шарики от вертикали после удара? (Углы считать малыми.)

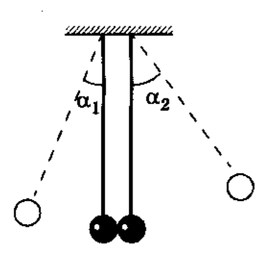
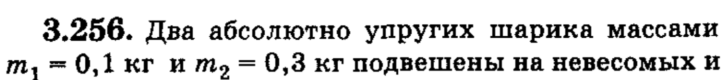


Рис. 3.56


3.256. Два абсолютно упругих шарика массами $m_1 = 0{,}1$ кг и $m_2 = 0{,}3$ кг подвешены на невесомых и

нерастяжимых нитях длиной $l = 0{,}5$ м так, что касаются друг друга (рис. 3.57). Шарик, имеющий меньшую массу, отклоняют от положения равновесия на 90° и отпускают. На какую высоту поднимается второй шарик после удара?

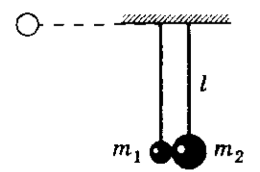


Рис. 3.57

3.257. На дне гладкой полусферы радиусом R лежит шарик массой m_1. С края полусферы соскальзывает шарик массой m_2 такого же размера, как и первый. Какой будет высота подъема каждого шарика после упругого удара?

3.258. Два небольших стальных шарика подвешены на невесомых нерастяжимых нитях, как показано на рисунке 3.58. Массы шариков равны m_1 и m_2, длины нитей l_1 и l_2 соответственно. Первый шарик отклоняют на угол α и отпускают. На какой угол β отклонится после удара второй шарик? Удар центральный и абсолютно упругий. Сопротивление воздуха не учитывать.

3.259. N одинаковых шариков подвешены на нитях так, что не касаются друг друга (рис. 3.59). Крайний левый шар отводят на угол α и отпускают. На какой угол отклонится этот шар после удара? На какой угол отклонится крайний правый шар? Удары считать абсолютно упругими.

3.260°. На гладкой горизонтальной поверхности находятся две одинаковые соприкасающиеся шайбы. Третья такая же шайба налетает на них со скоростью $v_0 = 6$ м/с, направленной по общей касательной к неподвижным шайбам (рис. 3.60). После столкновения налетевшая шайба движется вдоль первоначального направления со скоростью $v_1 = 2$ м/с. Какое количество теплоты выделилось при столкновении? Масса каждой шайбы $m = 100$ г.

3.261°. На неподвижную частицу массой m_1 налетает частица массой m_2. После соударения одна из частиц полетела под прямым углом, а другая под углом $\alpha = 30°$ к направлению первоначальной скорости налетевшей частицы. Найти отношение масс частиц m_2/m_1, если при столкновении $\eta = 20\%$ первоначальной энергии перешло в тепло.

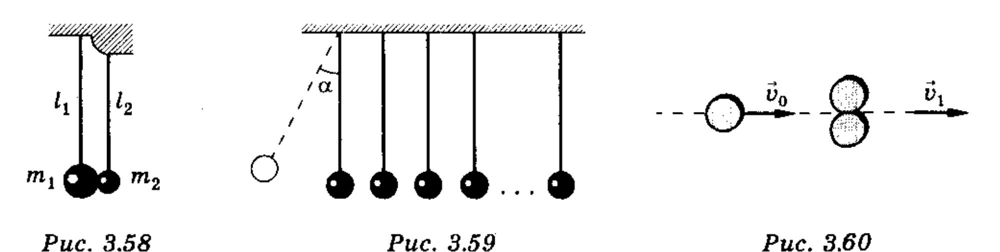


Рис. 3.58 Рис. 3.59 Рис. 3.60

3.262°. Кубик массой $m = 2$ кг соскальзывает без начальной скорости с вершины гладкой горки высотой $h = 1$ м (рис. 3.61). Горка может без трения перемещаться по горизонтальной поверхности. Масса горки $M = 7$ кг. В конце спуска кубик ударяется о пружину с коэффициентом жесткости $k = 100$ Н/м и сжимает ее. Определить: а) скорости горки и кубика относительно горки в момент удара кубика о пружину; б) ускорение горки в момент наибольшей деформации пружины.

3.263. С высоты $H = 73{,}1$ м сбрасывают два одинаковых по массе камня, связанных нитью, длина которой $l = 39{,}2$ м. Первый камень начинает падать на время $t_0 = 2$ с раньше второго. Через какое время после начала падения камни упадут на землю? Падение происходит без начальной скорости. Нить невесома и нерастяжима. Сопротивление воздуха не учитывать.

3.264. Шар массой $2m$ подбрасывают вертикально вверх со скоростью $v_0 = 10$ м/с. К шару привязана невесомая нить длиной $l = 1$ м, на другом конце которой находится шар массой m. Через какое время после начала движения шар массой $2m$ упадет на землю? Сопротивление воздуха не учитывать.

3.265°. На гладкой горизонтальной поверхности находится горка, масса которой $M = 8$ кг, а высота ее $h = 1$ м. На вершину горки положили тело массой $m = 2$ кг, которое, скатившись, упруго ударяется о пружину (рис. 3.61) и вновь поднимается на горку. Найти максимальную высоту, на которую поднимется тело в этом случае. Трение в системе отсутствует.

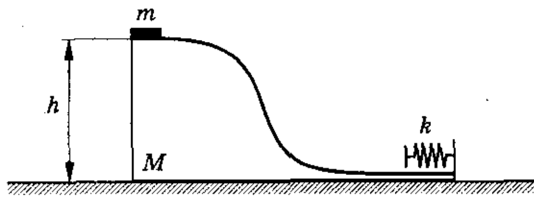


Рис. 3.61

3.266. В лифте, поднимающемся с ускорением a, мальчик отпускает пластилиновый шарик массой m с высоты h от пола. Какое количество тепла выделится при его ударе о пол лифта?

3.267°. Шар массой M находится на гладкой горизонтальной поверхности на некотором расстоянии от вертикальной стены. Другой шар массой m движется от стены к первому шару. Между шарами происходит центральный абсолютно упругий удар. При каком соотношении масс M/m между шарами не произойдет второго удара? Удар шара массой m о стену считать абсолютно упругим.

3.268°. Два неподвижных клина одинаковой массы $M = 2$ кг имеют плавные переходы на горизонтальную плоскость и первоначально расположены так, как показано на рисунке 3.62. С левого клина с высоты $h_0 = 75$ см соскальзывает шайба массой $m = 0{,}5$ кг. На какую максимальную высоту поднимется шайба по правому клину? Трение не учитывать.

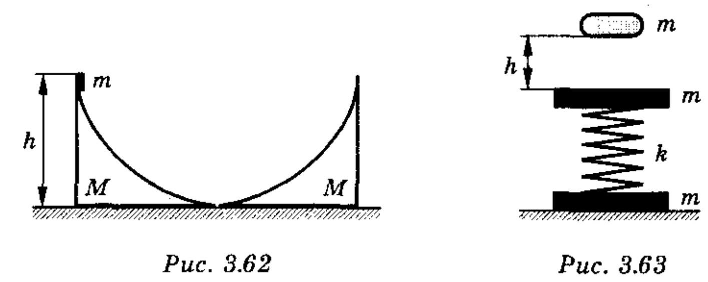


Рис. 3.62 *Рис. 3.63*

3.269°. Два бруска соединены пружиной, расположенной вертикально (рис. 3.63). Нижний брусок лежит на столе. На верхний брусок падает грузик. С какой минимальной высоты h (отсчитывая от верхнего бруска) должен упасть грузик, чтобы нижний брусок подпрыгнул над столом? Массы каждого бруска и грузика одинаковы и равны $m = 500$ г, коэффициент жесткости пружины $k = 100$ Н/м. Соударение грузика с верхним бруском абсолютно неупругое.

3.270. На гладкой горизонтальной поверхности около стенки находится брусок массой $m_1 = 200$ г с углублением полусферической формы радиусом $r = 50$ см. С верхнего края углубления начинает соскальзывать маленькая шайба массой $m_2 = 100$ г. Найти максимальную скорость бруска при его последующем движении. Трением пренебречь.

Таблица 3

Формулы	Обозначения	Единицы измерения
Сила и импульс $<\vec{F}>\Delta t = m\vec{v} - m\vec{v}_0 = \Delta(m\vec{v})$; $\vec{F} = (m\vec{v})'$ Закон сохранения импульса $m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{u}_1' + m_2\vec{u}_2'$ Уравнение Мещерского* $m\vec{v}_1' = \vec{F} + \vec{u}(m)'$ Центр масс системы $\vec{r}_{ц.м} = \dfrac{m_1\vec{r}_1 + m_2\vec{r}_2}{m_1 + m_2}$ Механическая работа $A = <\vec{F}>\Delta\vec{r} = F\,\Delta r \cdot \cos\alpha$ Мощность $N = \dfrac{A}{\Delta t} = \vec{F} \cdot \vec{v}$; $N = A'$ Кинетическая энергия $E_к = \dfrac{mv^2}{2}$ Теорема о кинетической энергии $A = E_{к2} - E_{к1}$ Потенциальная энергия $A = -\Delta E_п$; $E_п = mgh$; $E_п = \dfrac{kx^2}{2}$ Закон сохранения механической энергии $E_{к1} + E_{п1} = E_{к2} + E_{п2}$ Закон сохранения энергии $E_{к1} + E_{п1} + A = E_{к2} + E_{п2}$	$<\vec{F}>$ — средняя сила $<\vec{F}>\Delta t$ — импульс силы mv — импульс тела (количество движения) $\Delta(m\vec{v})$ — изменение импульса тела $m_1\vec{v}_1$, $m_2\vec{v}_2$ — импульсы тел до взаимодействия m_1u_1', m_2u_2' — импульсы тел после взаимодействия $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_{ц.м}$ — радиус-векторы тел m_1 и m_2 и центра масс A — работа $\Delta\vec{r}$ — перемещение α — угол между силой и перемещением N — мощность E — энергия	1 Н 1 Н · с 1 кг · м/с 1 Дж 1 Вт 1 Дж

4. Статика

Равновесие тел при отсутствии вращения

4.1. На тело действуют силы 2 и 10 Н. Может ли их равнодействующая быть равной 5Н? 10 Н? 15 Н?

4.2. Две силы по $F = 5$ Н каждая приложены к одной точке тела под углом $\alpha = 90°$. Как нужно приложить к этому телу две силы по $F_1 = 4$ Н каждая, чтобы они уравновесили первые?

4.3. В каких случаях герои известной басни Крылова лебедь, рак и щука действительно не сдвинут воза, если считать, что их силы равны и силы трения между возом и землей не существует?

4.4. При каком способе подвешивания качелей (рис. 4.1) веревки будут испытывать меньшее натяжение?

4.5. Почему туго натянутая бельевая веревка часто обрывается под тяжестью повешенного на нее платья, в то время как слабо натянутая выдерживает тот же груз?

4.6. Баржа удерживается двумя канатами (рис. 4.2). С какой силой F ветер действует на баржу, если каждый канат натянут силой $T = 8$ кН, а угол между канатом и берегом $\alpha = 60°$?

4.7. Чтобы сдвинуть с места застрявший автомобиль, иногда пользуются таким приемом: автомобиль привязывают длинной веревкой к дереву, по возможности сильно ее натянув (рис. 4.3). Затем, натягивая веревку посередине почти перпендикулярно ее направлению, человек легко сдвигает автомобиль с места. Почему это возможно?

4.8. К средней точке горизонтально подвешенного провода длиной $l = 40$ м подвешен груз массой $m = 17$ кг. Вследствие этого провод провис на $\Delta x = 10$ см. Определить силу натяжения T, с которой каждая половина провода действует на груз.

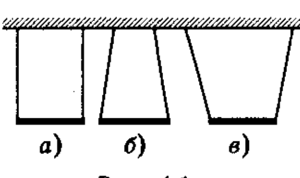



Рис. 4.1

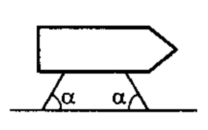


Рис. 4.2

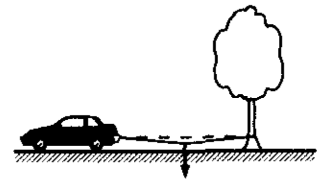


Рис. 4.3

4.9. Небольшое тело массой m находится на горизонтальной поверхности. К нему приложена сила, направленная под углом α к горизонту (рис. 4.4). Коэффициент трения между телом и поверхностью равен μ. При каких значениях силы тело будет оставаться в покое?

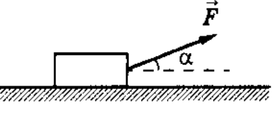


Рис. 4.4

4.10. Брусок массой $m = 2$ кг лежит на доске длиной $l = 150$ см, один из концов которой приподнят относительно другого на высоту $h = 90$ см. С какой минимальной силой F необходимо прижать брусок к доске, чтобы он не скользил? Коэффициент трения между бруском и доской $\mu = 0,5$.

4.11. На полуцилиндре радиусом $R = 0,5$ м находится шайба (рис. 4.5). Определить минимальную высоту h от основания полуцилиндра, чтобы шайба еще не соскальзывала. Коэффициент трения между шайбой и полуцилиндром $\mu = 0,8$.

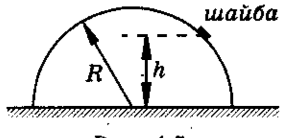


Рис. 4.5

4.12. Найти силы F_1 и F_2, действующие на стержни AB и BC (рис. 4.6), если $\alpha = 60°$, а масса лампы $m = 3$ кг.

4.13. Груз массой $m = 120$ кг укреплен на подвесе (рис. 4.7). Длина стержня AC $a = 2$ м, длина троса BC $b = 2,5$ м. Найти силы, действующие на трос и стержень.

4.14. Электрическая лампа подвешена на шнуре и оттянута горизонтальной оттяжкой (рис. 4.8). Найти силу натяжения шнура F_1 и оттяжки F_2, если масса лампы $m = 1$ кг, а угол $\alpha = 60°$.

4.15. К вертикальной гладкой стене подвешен однородный шар массой m. Нить составляет со стеной угол α. Определить силу натяжения нити T и силу давления F шара на стену.

4.16. Найти силу натяжения нити T и силу давления F шарика массой $m = 10$ г на гладкую наклонную плоскость в системе, изображенной на рисунке 4.9, если $\alpha = 30°$.

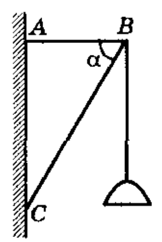


Рис. 4.6

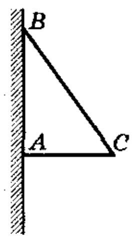


Рис. 4.7

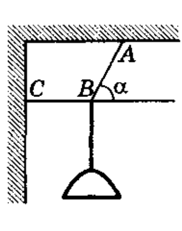


Рис. 4.8

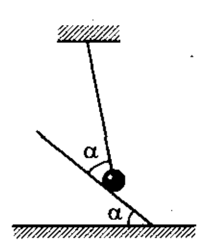


Рис. 4.9

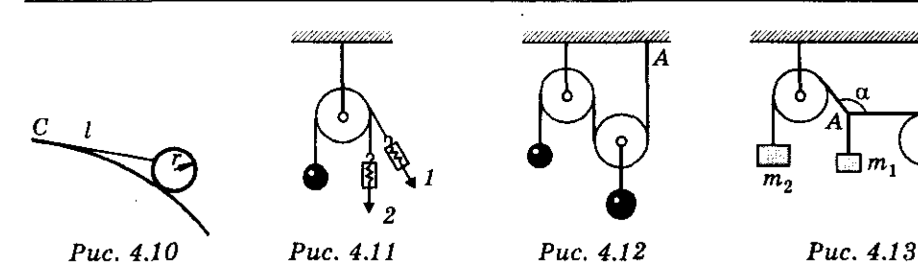


Рис. 4.10 Рис. 4.11 Рис. 4.12 Рис. 4.13

4.17. Шарик радиусом r и массой m удерживается на неподвижном шаре радиусом R невесомой нитью длиной l ($l < R$), закрепленной в верхней точке шара C (рис. 4.10). Других соприкосновений между нитью и шаром нет. Пренебрегая трением, найти силу натяжения нити T и силу реакции опоры N.

4.18. Одинаковы ли показания динамометра в случаях *1* и *2* (рис. 4.11)? Одинаковую ли силу давления испытывает ось блока в обоих случаях?

4.19. Система подвижного и неподвижного блоков находится в равновесии (рис. 4.12). Что произойдет, если точку A крепления нити передвинуть вправо?

4.20. Груз массой $m_1 = 10$ кг уравновешен грузами m_2 и m_3. При этом нить, удерживающая груз m_3, идет от точки A горизонтально (рис. 4.13). Найти массу груза m_3 и угол α, если масса груза $m_2 = 18$ кг.

4.21. Карандаш массой $m = 0{,}01$ кг стоит вертикально на пружине в закрытом пенале (рис. 4.14, *а*). Когда пенал перевернули (рис. 4.14, *б*), карандаш стал давить на крышку в $n = 1{,}2$ раза сильнее. С какой силой F он в действовал на нее первоначально?

4.22. К однородному стержню массой m и длиной l подвешен груз массой M (рис. 4.15). Найти силу упругости T, возникающую в стержне в точках A, B, C, если $BC = x$.

4.23. Под действием груза пружина растянулась до длины l (рис. 4.16, *а*). Если теперь к грузу прикрепить еще одну такую же пружину, а к ней такой же груз (рис. 4.16, *б*), то вся система растянется до длины l_1. Чему равна длина недеформированной пружины l_0?

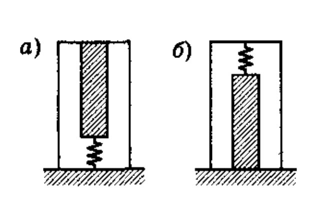


Рис. 4.14

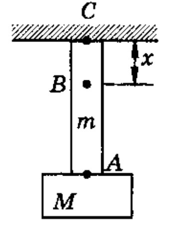


Рис. 4.15

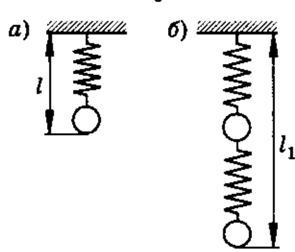


Рис. 4.16

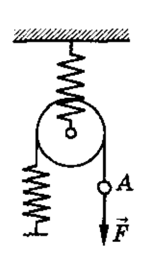


Рис. 4.17

4.24. Два груза, масса которых m_1 и m_2 соответственно, скреплены пружиной. Когда система подвешена за груз m_1, то длина пружины l. Если нижний груз (m_2) поставить на подставку, а верхний (m_1) освободить от подвеса, длина пружины будет l_1. Определить длину нерастянутой пружины l_0.

4.25. На сколько переместится конец нити (точка A), перекинутой через блок, если к нему приложить силу F (рис. 4.17)? Жесткость каждой пружины k.

4.26. Найти жесткость k системы, состоящей из двух пружин, имеющих жесткости k_1 и k_2, если пружины соединены: а) параллельно; б) последовательно.

4.27. Лестница прислонена к наклонной стенке, образующей угол α с вертикалью (рис. 4.18). При каком коэффициенте трения μ лестницы о стенку возможно равновесие даже в том случае, когда пол идеально гладкий?

4.28. Между одинаковыми брусками квадратного сечения, лежащими на горизонтальной плоскости (рис. 4.19), вставлен гладкий клин такой же массы с сечением в виде равностороннего треугольника. При каком коэффициенте трения брусков о плоскость они начнут разъезжаться?

4.29°. Два одинаковых шара радиусом R и массой M каждый подвешены в одной точке так, что угол между нитями равен 2α. Какой максимальной массы m шар можно положить между ними, чтобы шары не разошлись (рис. 4.20)? Радиус третьего шара r ($r < R$).

4.30*. Определить наибольшую высоту стены h, которую можно построить из кирпича, если предел прочности кирпича на сжатие $\sigma = 10^7$ Па, а его плотность $\rho = 1{,}5 \cdot 10^3$ кг/м^3.

4.31°. На двух гладких наклонных плоскостях, образующих с горизонтом углы $\alpha = 30°$ и $\beta = 60°$, лежит шар массой $m = 3$ кг (рис. 4.21). Определить силы, с которыми шар действует на каждую из плоскостей.

4.32. В ящике, длина которого $l = 60$ см, лежит шар массой $m = 2$ кг. С какой силой шар будет давить на стенку и дно ящика, если его край приподнять на $h = 18$ см?



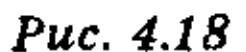


Рис. 4.18

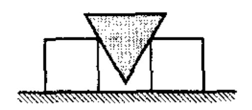


Рис. 4.19

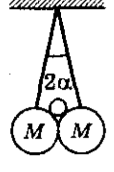


Рис. 4.20

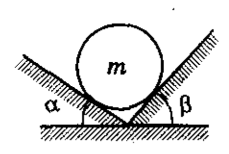


Рис. 4.21

Равновесие твердого тела

4.33. Показать плечо силы F в каждом из случаев, изображенных на рисунке 4.22.

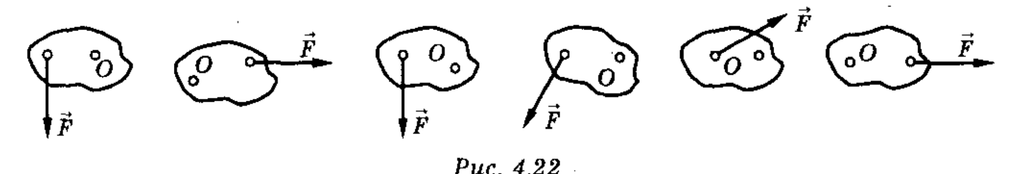


Рис. 4.22

4.34. При каком положении педали велосипеда момент действующей на нее силы, направленной вертикально, будет наибольшим? равным нулю?

4.35. Почему длинный стержень легче держать в горизонтальном положении за его середину, чем за один из концов?

4.36. Как изменится момент силы, если силу увеличить в 3 раза, а плечо ее уменьшить в 2 раза?

4.37. Плечо силы $F = 10$ Н равно $h = 0{,}5$ м. Найти момент этой силы.

4.38. Гаечным ключом, длина рукоятки которого $l = 400$ мм, отвинчивают гайку. Сила, приложенная под углом $\alpha = 90°$ к концу рукоятки, $F = 50$ Н. Чему равен момент силы? Каков будет момент, если силу приложить к середине рукоятки? Определить указанные моменты, если сила направлена под углом $\beta = 30°$ к рукоятке.

4.39. К твердому телу приложены две параллельные и одинаково направленные силы F_1 и F_2. Доказать, что:

а) модуль равнодействующей силы равен сумме модулей приложенных сил;

б) равнодействующая сила параллельна слагаемым силам и направлена в ту же сторону;

в) равнодействующая сила проходит через точку, которая делит отрезок между точками приложения слагаемых сил на части, обратно пропорциональные модулям этих сил.

4.40. Между двумя одинаковыми ящиками, стоящими на полу, вставлен стержень (рис. 4.23). К верхнему концу стержня приложена горизонтальная сила. Какой из ящиков сдвинется быстрее? Рассмотреть два случая: а) трение между ящиками и полом отсутствует; б) трение между полом и ящиками есть.

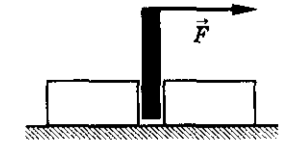


Рис. 4.23

4.41. Однородная балка массой $m = 10$ кг лежит на упоре на расстоянии $\frac{1}{4}$ ее длины. Какую силу, перпендикулярную балке, надо приложить к ее короткому концу, чтобы удержать ее в горизонтальном положении?

4.42. Балку длиной $l = 10$ м и массой $m = 900$ кг поднимают горизонтально на двух параллельных тросах. Найти силу натяжения тросов T_1 и T_2, если один из них укреплен на конце балки, а другой — на расстоянии $l_1 = 1$ м от другого конца.

4.43. К балке массой $m = 200$ кг и длиной $l = 5$ м подвешен груз массой $m_1 = 350$ кг на расстоянии $l_1 = 3$ м от одного из ее концов. Балка своими концами лежит на опорах. Каковы силы давления на каждую из опор?

4.44. К концам стержня массой $m = 1$ кг и длиной $l = 40$ см подвешены грузы массами $m_1 = 4$ кг и $m_2 = 1$ кг. Определить положение точки подвеса стержня, чтобы он находился в равновесии.

4.45. Бревно длиной $l = 12$ м можно уравновесить в горизонтальном положении на подставке, отстоящей на расстоянии $l_1 = 3$ м от его толстого конца. Если же подставка находится посередине и на тонкий конец положить груз массой $m = 60$ кг, то бревно снова будет в равновесии. Определить массу бревна.

4.46. Однородная балка массой M и длиной l подвешена за концы на двух пружинах. Обе пружины в ненагруженном состоянии имеют одинаковую длину, но при действии одинаковой нагрузки удлинение правой пружины в n раз больше, чем удлинение левой. На каком расстоянии s от левого конца балки надо положить груз массой m, чтобы балка приняла горизонтальное положение?

4.47. Два мальчика, массы которых $m_1 = 32$ кг и $m_2 = 24$ кг, сделали себе качели, положив доску длиной $l = 4$ м на упор. Определить массу доски, считая ее однородной, если известно, что она находится в равновесии, когда точка опоры удалена на расстояние $a = 2{,}2$ м от одного из концов, а мальчики сидят на концах доски.

4.48. Лом массой $m = 16$ кг и длиной $l = 2$ м лежит на ящике шириной $a = 1$ м, выступая за его край на расстояние $c = 0{,}4$ м. Какую минимальную силу нужно приложить к лому, чтобы приподнять его длинный конец?

4.49. Однородный стержень массой m и длиной l укреплен при помощи нити и опоры, как показано на рисунке 4.24. Найти зависимость силы натяжения нити T от расстояния x.

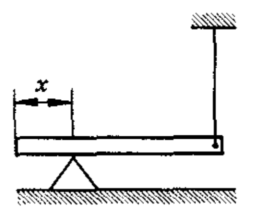


Рис. 4.24

4.50. Легкий стержень OA, изображенный на рисунке 4.25, находится в равновесии. Определить массу груза m, если масса $M = 10$ кг, расстояние $OA = 4 \cdot OB$.

4.51. При взвешивании на неравноплечных рычажных весах масса тела на одной чашке получилась $m_1 = 0{,}3$ кг, на другой — $m_2 = 0{,}34$ кг. Определить истинную массу тела m.

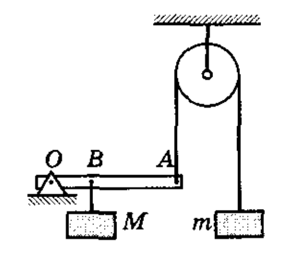


Рис. 4.25

4.52. Однородный стержень AB опирается о шероховатый пол и удерживается в равновесии горизонтальной нитью BC (рис. 4.26). Коэффициент трения между стержнем и полом $\mu = 0{,}35$. При каком предельном значении угла наклона α стержня к полу возможно это равновесие?

4.53. *Однородный стержень AB опирается о гладкий пол и шероховатый* выступ C (рис. 4.27). Угол наклона стержня к полу $\alpha = 30°$. При каком коэффициенте трения μ стержень будет находиться в равновесии в указанном положении?

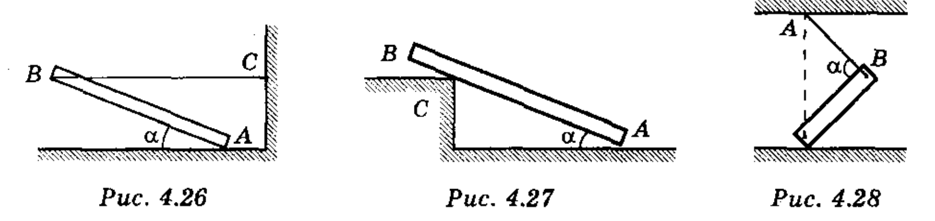


Рис. 4.26 *Рис. 4.27* *Рис. 4.28*

4.54. Каким должен быть коэффициент трения μ однородного стержня о пол, чтобы он мог находиться в положении, показанном на рисунке 4.28. Длина нити AB равна длине стержня, угол $\alpha = 90°$.

4.55. Однородный стержень массой $m = 80$ кг шарнирно прикреплен нижним концом к неподвижной опоре и может вращаться в вертикальной плоскости. Стержень удерживается в наклонном положении горизонтальным тросом, прикрепленным к его верхнему концу. Найти силу реакции шарнира F и силу натяжения троса T. Угол наклона стержня к горизонту $\alpha = 45°$.

4.56. Столб массой m, упирающийся одним концом в прямой угол, равномерно поворачивают в вертикальное положение силой F, приложенной ко второму концу, перпендикулярно столбу (рис. 4.29). При этом значение силы F постепенно уменьшается до нуля. Найти *закон изменения силы F и силы реакции опоры N от* угла поворота.

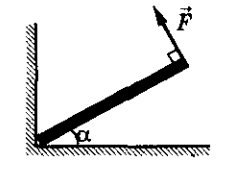


Рис. 4.29

4.57. Однородный стержень, один конец которого закреплен, отведен на угол α и удерживается силой F (рис. 4.30). Определить массу стержня m и силу реакции опоры N.

4.58. Однородный стержень AB (рис. 4.31) прикреплен к вертикальной стене посредством шарнира A и удерживается под углом $\alpha = 60°$ к вертикали с помощью троса BC, образующего с ним угол $\beta = 30°$. Определить модуль и направление силы реакции шарнира, если известно, что масса стержня $m = 2$ кг.

4.59. Стержень AB упирается в пол, образуя с вертикалью угол φ (рис. 4.32). К стержню приложена сила F. Доказать, что, как бы ни была велика сила F, стержень не сдвинется с места, если tg φ меньше коэффициента трения μ.

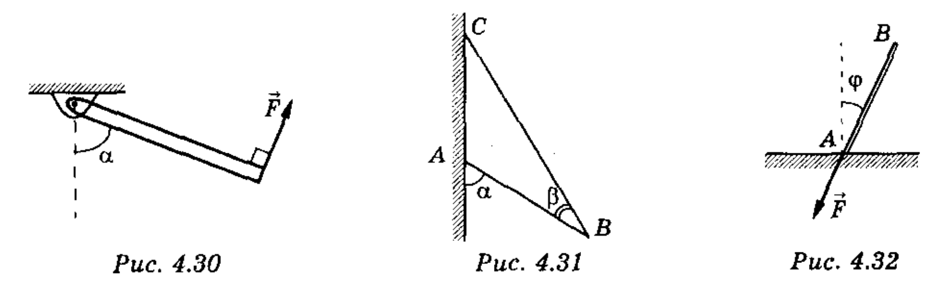


Рис. 4.30 *Рис. 4.31* *Рис. 4.32*

4.60. Лестница опирается о вертикальную стену и горизонтальный пол. Коэффициент трения между стеной и лестницей $\mu_2 = 0,4$, между полом и лестницей $\mu_1 = 0,5$. Определить наименьший угол α наклона лестницы к полу, при котором она может оставаться в равновесии.

4.61. Лестница массой m и длиной l прислонена к гладкой вертикальной стене под углом α к вертикали. Центр лестницы находится на высоте h от пола. Человек тянет лестницу за середину в горизонтальном направлении с силой F. Какой должна быть минимальная сила, чтобы человек мог отодвинуть верхний конец лестницы от стены? Трение о пол настолько велико, что нижний конец лестницы не скользит.

4.62. Легкая лестница составляет с землей угол $\alpha = 70°$ и опирается о гладкую вертикальную стену. Найти силы, действующие на лестницу со стороны земли и стены, если человек массой $m = 70$ кг поднялся по лестнице на две трети ее длины.

4.63°. Какую и в каком направлении нужно дополнительно приложить к треугольнику минимальную силу F, чтобы удержать его в положении, изображенном на рисунке 4.33 сплошными линиями? Масса треугольника m, угол при вершине $\alpha = 30°$.

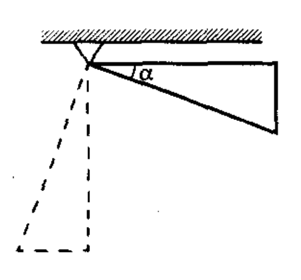


Рис. 4.33

4.64. Однородный шар массой m подвешен на нити, конец которой закреплен на вертикальной стене. Точка крепления шара к нити находится на одной вертикали с центром шара. Найти силу натяжения нити и силу трения между шаром и стеной, если шар находится в равновесии. Длина нити $l = 2R$, где R — радиус шара.

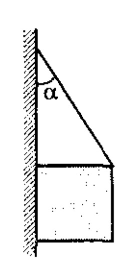


Рис. 4.34

4.65. Однородный куб с помощью веревки подвешен к вертикальной стене как показано на рисунке 4.34. При каких значениях угла между веревкой и стеной куб соприкасается со стеной всей гранью, если коэффициент трения его о плоскость равен μ?

4.66. Пустая коробка поставлена на горизонтальную плоскость. К верхней грани коробки параллельно плоскости приложена сила F, под действием которой коробка движется равномерно. Ширина коробки, измеренная в направлении действия силы, $b = 18$ см. Коэффициент трения коробки о плоскость $\mu = 0{,}3$. Какова максимальная высота коробки h, при которой она будет двигаться без опрокидывания?

4.67. Шестигранный карандаш брошен по поверхности стола. При каком коэффициенте трения μ между карандашом и столом он будет скользить по поверхности, не вращаясь вокруг своей оси?

4.68. Два человека несут по наклонному трапу сплошной бетонный блок. Длина блока в $k = 1{,}5$ раза больше высоты. Угол наклона трапа к горизонту $\alpha = 30°$. Какому носильщику тяжелее и во сколько раз n?

4.69. С какой минимальной силой F необходимо тянуть колесо радиусом R за ось вращения, чтобы поднять его на ступеньку высотой h ($R > h$) (рис. 4.35)?

4.70. На колесе радиусом $R = 3{,}2$ см имеется плоская часть длиной $a = 2$ см (рис. 4.36). При каком коэффициенте трения μ колесо будет скользить, а не катиться по гладкой поверхности, если его плавно тянуть за ось вращения?

4.71. На цилиндр намотана нить, конец которой закреплен на стойке в верхней точке наклонной плоскости (рис. 4.37). Коэффициент трения

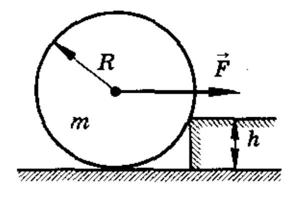


Рис. 4.35

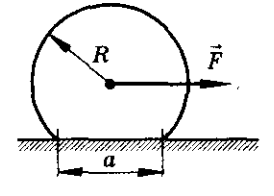


Рис. 4.36

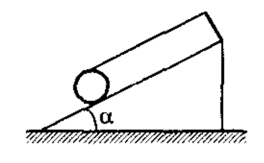


Рис. 4.37

цилиндра о плоскость μ. При каком максимальном значении угла α цилиндр не будет скатываться с наклонной плоскости?

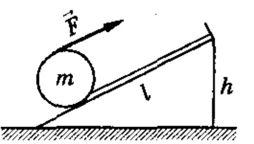


Рис. 4.38

4.72. Бревно массой $m = 40$ кг втягивают вверх по наклонной плоскости с помощью каната, закрепленного как показано на рисунке 4.38. Высота наклонной плоскости $h = 1$ м, длина ее $l = 2$ м. Какую силу F необходимо приложить к канату, чтобы втянуть бревно на вершину плоскости?

Центр тяжести

4.73. Кусок какой длины l необходимо отрезать от однородного стержня, чтобы его центр тяжести переместился на $\Delta l = 10$ см?

4.74. Определить при помощи карандаша и линейки центр тяжести плоского тела (рис. 4.39).

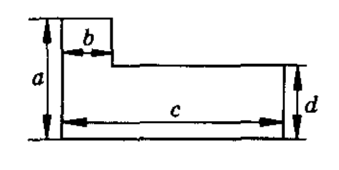


Рис. 4.39

4.75. Определить положение центра тяжести системы, изображенной на рисунке 4.40. Длина стержня $l = 1$ м, масса стержня $m = 1$ кг. Расстояние между центрами шаров равные. Массы шаров $m_1 = 1$ кг, $m_2 = 3$ кг, $m_3 = 4$ кг, $m_4 = 5$ кг.

4.76. Два шара одинакового объема, алюминиевый и цинковый, скреплены в точке касания. Найти положение центра тяжести системы шаров.

4.77. Доказать, что центр тяжести плоского треугольника находится в точке пересечения медиан.

4.78. Из однородного диска радиусом $R = 105{,}6$ см вырезан квадрат так, как показано на рисунке 4.41. Определить положение центра тяжести диска с таким вырезом.

4.79. Наружный и внутренний радиусы кольца (рис. 4.42) равны $R = 30$ мм и $r = 20$ мм. С одной стороны, кольцо разрезано на ширину $d = 6$ мм. Где расположен центр тяжести разрезанного кольца?

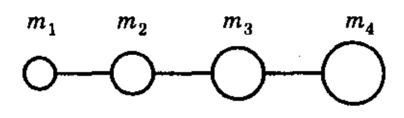


Рис. 4.40

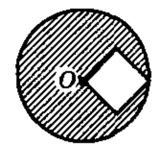


Рис. 4.41

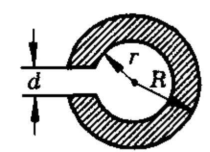


Рис. 4.42

4.80. В свинцовом шаре сделана сферическая полость, касающаяся поверхности шара и проходящая через его центр. Масса сплошного шара равна M, радиус шара R. Найти положение центра тяжести получившегося тела.

4.81°. В цилиндрический стакан наливают воду. При каком уровне воды h центр тяжести стакана с водой занимает самое низшее положение? Масса стакана m, площадь сечения S, центр тяжести стакана находится на высоте H от основания.

Равновесие тел

4.82. Чтобы выложить карниз здания, каменщик кладет четыре кирпича один на другой так, что часть каждого кирпича выступает над нижележащим. Длина кирпича l. Найти наибольшие длины выступающих частей кирпичей, при которых кирпичи в карнизе еще будут находиться в равновесии без цементного раствора.

4.83. Может ли человек, стоящий у стены так, что правая нога и правое плечо упираются в стену, поднять левую ногу и не потерять при этом равновесия?

4.84. На горизонтальной шероховатой доске длиной $l = 1$ м стоит цилиндр, высота которого H в четыре раза больше диаметра основания D. На какую максимальную высоту h можно поднять один из концов доски, чтобы цилиндр не упал?

4.85. Глубина лунки в доске, в которую вставлен шар, в два раза меньше радиуса шара (рис. 4.43). При каком угле наклона доски к горизонтали шарик выскочит из лунки?

4.86°. Однородное тело, состоящее из цилиндра и полушара, стоит на гладкой горизонтальной плоскости (рис. 4.44). При каких значениях h это положение устойчиво? Центр тяжести полушара находится в точке C_1. Расстояние $OC_1 = \frac{3}{8}R$, где R — радиус полушара.

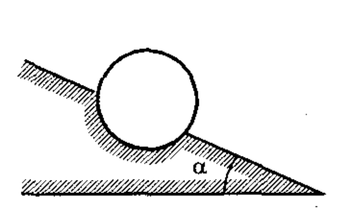


Рис. 4.43

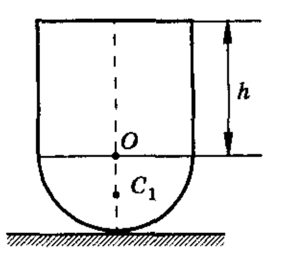


Рис. 4.44

4.87°. Игрушка ванька-встанька (рис. 4.45) еще находится в равновесии на шероховатой наклонной поверхности, составляющей с горизонтом угол α, если ось симметрии игрушки составляет угол β с вертикалью. Какой массы кепочку можно надеть игрушке, если масса игрушки M, высота h, а радиус туловища R?

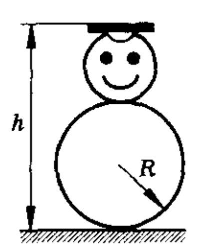


Рис. 4.45

4.88. Тяжелый стержень согнут посередине под прямым углом и подвешен свободно за один из концов (рис. 4.46). Какой угол с вертикалью α образует верхняя половина стержня?

4.89. Определить, на какой угол α повернется квадрат, подвешенный за вершину, если из него изъять $\frac{1}{4}$ часть, отмеченную на рисунке 4.47 штриховкой.

4.90. Катушка висит на нити, намотанной по ее малому радиусу r. По большому радиусу R тоже намотана нить, на конце которой висит груз (рис. 4.48). Какова масса груза m, если система находится в равновесии? Масса катушки M.

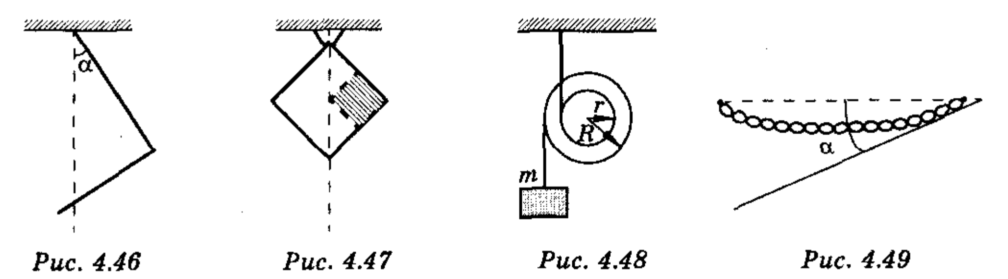


Рис. 4.46 Рис. 4.47 Рис. 4.48 Рис. 4.49

4.91°. Цепочка массой m подвешена за концы так, что вблизи точек подвеса она образует с горизонталью угол α (рис. 4.49). Определить силу натяжения цепочки в ее нижней точке $T_н$ и в точках подвеса $T_п$.

4.92. В гладкой закрепленной полусфере свободно лежит палочка массой m так, что ее угол с горизонтом равен α, а конец выходит за край полусферы (рис. 4.50). С какими силами действует палочка на полусферу в точках соприкосновения A и B?

4.93°. Папа Карло сделал для Буратино колпак, который имеет форму конуса высотой $H = 20$ см с углом $\alpha = \frac{\pi}{3}$ при вершине. Будет ли колпак держаться на голове Буратино, если его голова — шар диаметром $D = 15$ см?

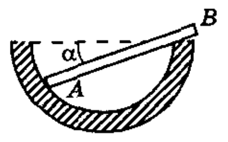


Рис. 4.50

4.94°. На гладкое горизонтальное бревно радиусом R сверху положили две одинаковые доски, соединенные шарнирно, как показано на рисунке 4.51. Доски находятся в равновесии, если угол между ними $\alpha = \frac{\pi}{2}$. Найти длину каждой доски l.

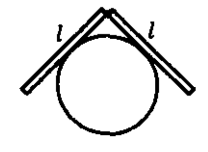


Рис. 4.51

Простые механизмы

4.95. На рисунке 4.52 изображен дифференциальный блок. Какой должна быть сила F, чтобы груз массой m находился в равновесии? Верхний блок имеет радиусы R и r, блоки невесомы.

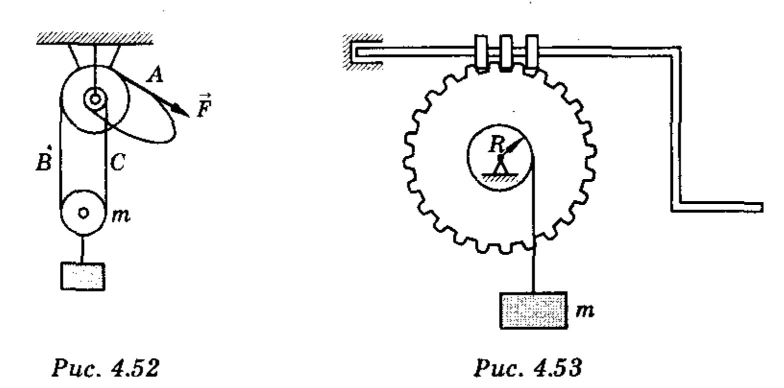


Рис. 4.52 Рис. 4.53

4.96. Груз массой m поднимают при помощи червячной передачи (рис. 4.53). Шестерня имеет $n = 30$ зубьев, радиус вала, на который намотан трос, R. Какой вращающий момент надо приложить к рукоятке, чтобы равномерно поднимать груз? Коэффициент полезного действия передачи $\eta = 80\%$.

4.97. Три зубчатых колеса связаны друг с другом как показано на рисунке 4.54. Радиусы колес R_1, R_2, R_3, а момент силы, приложенный к первому колесу, M_1. Какой момент силы M_3 надо приложить к третьему колесу, чтобы колеса не вращались?

4.98. Действующая модель подъемного крана способна поднять $k = 10$ бетонных плит. Сколько плит N поднимает реальный кран, изготовленный из тех же материалов, если линейные размеры крана, троса и плит в $n = 12$ раз больше, чем модель?

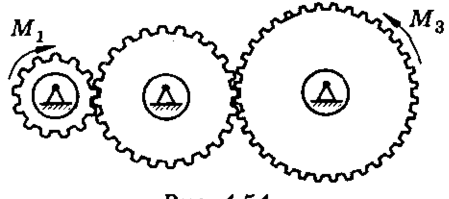


Рис. 4.54

Таблица 4

Формулы	Обозначения	Единицы измерения
$M = Fr \cdot \sin\alpha = Fh$	M — момент силы	1 Н · м
	F — сила	1 Н
	r — расстояние от оси до точки приложения силы	1 м
Условия равновесия	α — угол между $\vec{r}$ и $\vec{F}$	1 рад = = 57,34°
$\begin{cases} \sum\limits_{i=1}^{n} \vec{F}_i = 0, \\ \sum\limits_{i=1}^{n} M_i = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_{1x} + F_{2x} + \ldots + F_{nx} = 0, \\ F_{1y} + F_{2y} + \ldots + F_{ny} = 0, \\ M_0(\overrightarrow{F_1}) + M_0(\overrightarrow{F_2}) + \ldots + M_0(\overrightarrow{F_n}) = 0 \end{cases}$	h — плечо силы	1 м
	n — число сил, действующих на тело	
	F_{ix}, F_{iy} — проекции сил оси x и y	1 м

5. Гравитация

Закон всемирного тяготения

5.1. Вычислить силу гравитационного притяжения Земли и Луны. Какие ускорения имеют Земля и Луна благодаря этой силе?

5.2. Сравнить (найти отношение) силы гравитационного взаимодействия между Землей и Солнцем и между протоном и электроном в атоме водорода.

5.3. Во сколько раз сила гравитационного притяжения Луны и Солнца больше силы гравитационного притяжения Луны и Земли?

5.4. Два маленьких шара находятся на некотором расстоянии друг от друга. Как изменится сила притяжения между ними: а) при увеличении расстояния в 3 раза; б) если при неизменном расстоянии массу каждого шара увеличить в 2 раза?

5.5. Два одинаковых однородных шара, соприкасаясь, притягивают друг друга с силой F. Как изменится сила, если увеличить массу каждого шара в n раз? Плотность материала шаров не изменяется.

5.6. Две точечные массы m_1 и m_2 расположены на расстоянии l друг от друга. Где следует расположить точечную массу M, чтобы сила гравитационного воздействия на нее со стороны масс m_1 и m_2 равнялась нулю? Зависит ли место расположения от величины массы M?

5.7. *На каком расстоянии l от центра Луны тело притягивается* к Земле и Луне с одинаковой силой?

5.8*. Два шарика массами $m_1 = m_2 = \frac{m}{2}$, соединенные стержнем пренебрежимо малой массы, образуют гантель. Расстояние между центрами шариков l. Найти силу, действующую на гантель в поле тяжести точечной массы M, находящейся на расстоянии r от середины гантели ($r \perp l$). Исследовать полученные выражения для силы: а) при $r << l$; б) при $r >> l$; в) при каком r она будет максимальна и чему будет равна.

5.9*. Три материальные точки массами $m_1 = 6{,}4$ кг, $m_2 = 12{,}5$ кг, $m_3 = 10$ кг находятся в точках с радиус-векторами: $\vec{r}_1 = 2\vec{i} + \vec{j}$, $\vec{r}_2 = -\vec{i} - 7\vec{j}$, $\vec{r}_3 = 2\vec{i} - 3\vec{j}$. Найти гравитационную силу, действующую на частицу, имеющую массу m_3, со стороны частиц, массы которых m_1 и m_2.

5.10. Имеются три одинаковых шара. Найти отношение результирующих гравитационных сил, действующих на шар *1* со стороны шаров *2* и *3* в схемах компоновки, показанных на рисунке 5.1, *а* и *б*.

5.11°. Шар радиусом R и плотностью ρ имеет внутри сферическую полость радиусом r ($r < R$), центр которой находится на расстоянии s от центра шара (рис. 5.2). С какой силой будет притягиваться к шару материальная точка массой m, находящаяся на расстоянии l от центра шара, если треугольник ABC прямоугольный с прямым углом: а) $\angle ACB$; б) $\angle BAC$?

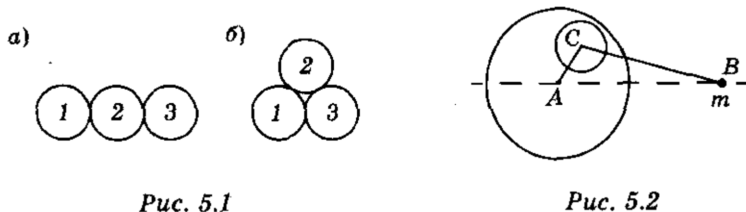


Рис. 5.1 *Рис. 5.2*

5.12°. В безграничной среде плотностью $\rho_0 = 10^3$ кг/м^3 находятся два шара на расстоянии $r = 20$ см между их центрами. Объемы шаров $V_1 = 30$ см^3 и $V_2 = 40$ см^3, плотность $\rho = 2 \cdot 10^3$ кг/м^3. Определить силы, действующие на шары.

Гравитационное поле планет

5.13. Каково ускорение свободного падения на «поверхности» Солнца?

5.14. Каково ускорение свободного падения на поверхности Луны?

5.15. Оценить массу Земли по ее полярному радиусу $R = 6370$ км и ускорению свободного падения на полюсе $g = 9{,}83$ м/с^2.

5.16. Определить ускорение свободного падения на поверхности Марса, если отношение масс Марса и Земли равно 0,107, а отношение радиусов Марса и Земли равно 0,53.

5.17. Найти ускорение свободного падения g_h на высоте, равной радиусу Земли.

5.18. На какой высоте h ускорение свободного падения будет в $n = 9$ раз меньше ускорения свободного падения у поверхности Земли?

5.19. На каком расстоянии R от центра Земли тело в первую секунду свободного падения проходит расстояние $s = 0{,}55$ м ?

5.20°. *С какой силой притягивается к центру Земли тело массой m, находящееся в глубокой шахте, если расстояние от него до центра Земли равно r? Плотность Земли считать постоянной и равной ρ.*

5.21. На какой глубине в единицах радиуса Земли $R_З$ ускорение свободного падения составит 0,9 от ускорения свободного падения на поверхности Земли? Плотность Земли считать постоянной.

5.22*. Какую работу нужно совершить, чтобы переместить вещество массой $m = 1$ кг из центра Земли на ее поверхность? Плотность Земли считать постоянной.

5.23. *Определить максимальную скорость камня, брошенного без начальной скорости в прямой тоннель, прорытый через центр Земли с одной стороны на другую. Вращение Земли не учитывать.*

5.24. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить, какую минимальную скорость в горизонтальном направлении надо сообщить телу, лежащему на поверхности Земли, чтобы оно стало искусственным спутником? Вращением Земли пренебречь.

5.25. *Во сколько раз первая космическая скорость для Земли больше, чем для Луны?* Масса Земли больше массы Луны в 81 раз, а радиус Земли превосходит лунный в 3,75 раза.

5.26. Космонавт массой $M = 100$ кг находится на поверхности шаровидного астероида радиусом $R = 1$ км и держит в руках камень массой $m = 10$ кг. С какой максимальной скоростью v относительно поверхности астероида космонавт может бросить камень, не рискуя превратиться в спутник астероида? Средняя плотность астероида $\rho = 5 \cdot 10^3$ кг/м^3.

5.27. Найти местную первую космическую скорость v_h, т. е. ту скорость, которую должно иметь тело на круговой орбите на высоте h от поверхности планеты массой M и радиусом R. Вычислить ее значение для высоты над Землей $h = R$.

5.28. Какой должна быть скорость у искусственного спутника, чтобы он мог двигаться по круговой орбите на высоте $h = 3430$ км над поверхностью Земли? Найти период его обращения.

5.29. Допустим, что на экваторе Земли построена вышка, высота которой $h = 2{,}5 \cdot 10^4$ км. Сможет ли человек, спрыгнув с нее, достичь земли?

5.30. Космическая ракета «Мечта» стала первой искусственной планетой Солнечной системы, удаленной от центра Солнца в среднем на $R = 1{,}7 \cdot 10^8$ км. Определить период ее обращения вокруг Солнца.

5.31. В романе «Гектор Сарвадок» Жюль Верн описал вымышленную планету Галия. Период ее обращения вокруг Солнца составлял $T = 2$ года, а расстояние от центра Солнца до центра планеты в среднем $R = 8{,}2 \cdot 10^8$ км. Может ли существовать такая планета, если ее орбиту считать круговой?

5.32. Считая, что орбита первого искусственного спутника Земли круговая радиусом $R = 7340$ км, определить число оборотов спутника за сутки вокруг Земли.

5.33. На какой высоте h от поверхности Земли должна проходить круговая орбита полюсного спутника, чтобы за сутки он пролетел над каждым полюсом $n = 10$ раз?

5.34. После совершения одной тысячи оборотов вокруг Земли первый искусственный спутник уменьшил период обращения с $T_1 = 96{,}2$ мин до $T_2 = 92{,}7$ мин. На сколько при этом уменьшилась средняя высота полета спутника над поверхностью Земли?

5.35. Средняя угловая скорость движения Земли вокруг Солнца равна 1° в сутки. Расстояние от Земли до Солнца $R = 1{,}5 \cdot 10^8$ км. По этим данным, зная гравитационную постоянную, определить массу Солнца.

5.36. Период обращения искусственного спутника планеты равен T. Определить среднюю плотность этой планеты. Спутник движется по круговой орбите вблизи поверхности планеты. Изменится ли период обращения этого спутника, если радиус планеты увеличить вдвое?

5.37. На какой высоте h над поверхностью Земли находится круговая орбита спутника массой $m = 1{,}2 \cdot 10^3$ кг, если его кинетическая энергия $E_к = 5{,}4 \cdot 10^9$ Дж?

5.38. Средний радиус орбиты Луны $R_{ЛЗ} = 385\,000$ км, период ее обращения вокруг Земли $T_Л = 27{,}3$ суток. Радиус Земли $R_З = 6370$ км. Определить по этим данным ускорение свободного падения g у поверхности Земли.

5.39. Считая орбиты Земли и Луны круговыми, вычислить отношение масс Земли и Солнца. Известно, что Луна совершает 13 обращений в течение года, а расстояние от Солнца до Земли в 390 раз больше расстояния от Луны до Земли.

5.40°. Период обращения Юпитера вокруг Солнца в 12 раз больше соответствующего периода обращения Земли. Считая орбиты планет круговыми, найти: а) во сколько раз расстояние от Юпитера до Солнца $R_Ю$ превышает расстояние от Земли до Солнца $R_З$; б) отношение угловых

и линейных скоростей движения Земли и Юпитера вокруг Солнца, а также отношение соответствующих ускорений.

5.41. Представим себе, что мы сделали модель Солнечной системы, в n раз меньшую натуральной величины, но из материалов той же самой средней плотности, что у Солнца и соответствующих планет. Найти отношения периодов обращения планет в модели Солнечной системы к соответствующим периодам обращения самих планет. Орбиты считать круговыми.

5.42. Как изменится продолжительность земного года, если: а) масса Земли увеличится в n раз (радиус Земли не меняется); б) масса Солнца увеличится в m раз?

5.43. Две звезды массами m_1 и m_2 находятся на постоянном расстоянии r друг от друга. Найти радиусы их орбит и период обращения вокруг общего центра масс.

5.44. Две звезды вращаются вокруг общего центра масс с периодом T и постоянными по модулю скоростями v_1 и v_2. Найти массы звезд и расстояние между ними.

5.45. Как изменится продолжительность земного года, если масса Земли сравняется с массой Солнца, а расстояние между ними останется прежним?

5.46. Солнце притягивает Луну сильнее, чем Земля. Как объяснить, что Луна — спутник Земли, а не Солнца?

5.47. Определить силу натяжения троса, связывающего два спутника массой m каждый, которые обращаются вокруг Земли на расстояниях R_1 и R_2 от ее центра так, что трос всегда направлен радиально. Масса Земли M.

5.48°. Исследования последней планеты Солнечной системы — Плутона показали: 1) Плутон наблюдается с Земли в виде малого диска с угловым диаметром 0,23 угловой секунды; 2) у Плутона имеется спутник диаметром около 500 км, вращающийся синхронно с планетой на малой высоте; 3) период обращения Плутона вокруг своей оси равен 6,4 земных суток; 4) расстояние от Земли до Плутона приблизительно равно $5 \cdot 10^9$ км. Оценить по этим данным среднюю плотность планеты Плутон.

5.49°. Спутник массой m движется по круговой орбите радиусом R вокруг планеты массой M (рис. 5.3). Какой импульс нужно мгновенно сообщить спутнику, чтобы плоскость его орбиты повернулась на угол α, а радиус орбиты не изменился?

$\vec{V}_2$ $\vec{V}_1$ α R

Рис. 5.3

5.50. Космический корабль с работающим двигателем движется по круговой орбите радиусом R вокруг Земли со скоростью v, вдвое большей скорости свободного (с выключенным двигателем) движения по той же орбите. Какую силу тяги развивают при этом двигатели корабля? Масса корабля m.

5.51°. Будет ли испытывать перегрузку космонавт в условиях, которые описаны в задаче 5.50: а) на околоземной орбите; б) на орбите с радиусом, равным двум радиусам Земли? Найти соответствующие коэффициенты перегрузки $n = \dfrac{P}{mg_0}$, где g_0 — ускорение свободного падения у поверхности Земли.

5.52°. Космический корабль движется по круговой орбите вокруг Земли так, что Луна, корабль и Земля все время находятся на одной прямой (рис. 5.4), причем силы притяжения корабля Луной и Землей компенсируют друг друга. Каков вес космонавта, находящегося на корабле? Масса космонавта m = 70 кг. Период обращения Луны вокруг Земли T = 27,3 суток.

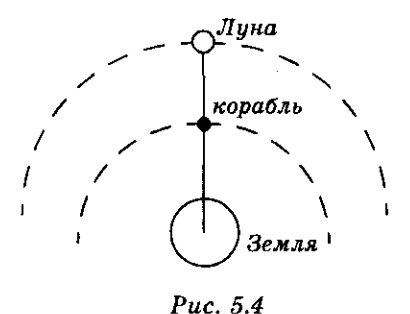


Рис. 5.4

5.53. Спутник «Космос-1366», предназначенный для ретрансляции телеграфно-телефонной информации, был выведен на круговую орбиту, находящуюся на расстоянии h = 35 820 км от поверхности Земли. Определить период обращения спутника. Объяснить преимущество этой орбиты. Оценить время задержки t передаваемой информации.

5.54. Какую скорость следует сообщить спутнику при запуске его на экваторе в направлении с запада на восток (в направлении вращения Земли)? В противоположном направлении?

5.55. Спутник запущен с экватора и движется по круговой орбите в плоскости экватора в направлении вращения Земли. Найти отношение радиуса орбиты спутника к радиусу Земли, при котором он периодически проходит над точкой запуска ровно через двое суток. Радиус Земли $R_З$ = 6400 км.

5.56. Спутник движется по круговой орбите в плоскости экватора на высоте, равной радиусу Земли. С какой скоростью должен перемещаться наблюдатель на Земле, чтобы спутник появлялся над ним каждые пять часов? Рассмотрите два случая: а) направление движения спутника и вращения Земли совпадают; б) направление движения спутника и вращения Земли противоположны.

5 - 1695

5.57. Определить вес тела массой m кг на поверхности Земли на широте $\varphi = 60°$.

5.58. На некоторой планете, плотность вещества которой ρ, тело на полюсе весит в n раз больше, чем на экваторе. Определить период обращения планеты вокруг собственной оси.

5.59. Чему равны сутки на планете, имеющей размер и массу Земли, но вращающейся вокруг своей оси с такой скоростью, что сила тяжести на экваторе равна нулю?

5.60. Вообразим, что строительная техника позволяет возводить сколь угодно высокие сооружения. Какую высоту H должна иметь башня, расположенная на экваторе Земли, чтобы тело, находящееся на вершине, было невесомым?

5.61. Определить среднюю плотность планеты ρ, продолжительность суток на которой $T = 6$ ч, если на ее экваторе пружинные весы показывают на $\eta = 10\%$ меньший вес, чем на полюсе.

5.62°. Два одинаковых поезда, массой $m = 1000$ т каждый, движутся вдоль экватора навстречу друг другу со скоростями $v = 30$ м/с. На сколько отличаются силы, с которыми они давят на рельсы?

5.63*. Оценить вторую космическую скорость v_{II} ракеты, стартующей с поверхности планеты, радиус которой $R = 7 \cdot 10^4$ км. Известно, что ускорение свободного падения на планете $g = 25,7$ м/с.

5.64*. Какова вторая космическая скорость v_{II} ракеты, стартующей с планеты, плотность которой в 3 раза меньше плотности Земли, а радиус вдвое меньше радиуса Земли? Средняя плотность Земли $\rho_З = 5,5 \cdot 10^3$ кг/м^3.

5.65*. Ракета движется по круговой траектории вблизи поверхности Земли. Какую дополнительную скорость v_2: а) по направлению первоначальной скорости ракеты; б) перпендикулярно к первоначальной скорости ракеты — должен сообщить ей двигатель, чтобы она смогла покинуть поле тяжести Земли?

5.66*. Тело запускают на полюсе Земли вертикально вверх с первой космической скоростью. На какое максимальное расстояние от поверхности Земли удалится это тело?

5.67*. На поверхности планеты телу сообщили скорость, превышающую вторую космическую скорость v_{II} на $\eta = 0,5\%$. Во сколько раз скорость тела вдали от планеты v_x будет меньше второй космической?

5.68*. Тело запустили вдоль экватора с востока на запад с такой скоростью, что очень далеко от Земли его скорость стала равной нулю.

Какую скорость относительно Земли будет иметь вдали от нее тело, запущенное с той же начальной скоростью вдоль экватора, но с запада на восток?

5.69*. Спутник Земли движется по круговой орбите. Его кинетическая энергия $E_к = 10^9$ Дж. Чему равна его потенциальная энергия[1]?

5.70*. Спутник массой $m = 1000$ кг вращается по круговой орбите вокруг Земли на высоте $h = 1000$ км от ее поверхности. Каковы его потенциальная, кинетическая и полная энергии?

5.71*. Найти минимальную энергию, которую необходимо затратить, чтобы вывести спутник массой m на круговую орбиту вокруг Земли с радиусом орбиты $R = 2R_З$. Ускорение свободного падения у поверхности Земли g.

5.72*. Спутник движется по круговой орбите радиусом R. В каком отношении сообщенная ему при запуске энергия распределилась между приращениями потенциальной $\Delta E_п$ и кинетической $\Delta E_к$ энергий? Вычислите отношение $\dfrac{\Delta E_п}{\Delta E_к}$ при $R = 2R_З$.

5.73*. Какую работу должен совершить двигатель космического аппарата массой $m = 2 \cdot 10^3$ кг, чтобы перевести его с орбиты радиуса $r_1 = 10^4$ км на орбиту радиуса $r_2 = 2 \cdot 10^4$ км?

5.74*. Какую скорость приобретет метеорит, падая с высоты $h_1 = 800$ км до высоты $h_2 = 100$ км, если допустить, что сопротивлением движению на этой высоте можно пренебречь? Начальная скорость метеорита $v_0 = 9$ км/с.

5.75*. Космический корабль летит от Земли к Луне, все время перемещаясь вдоль прямой, соединяющей центры планеты и ее спутника. На каком расстоянии x от центра Земли потенциальная энергия корабля принимает наибольшее значение? Массы Земли и Луны M_1 и M_2 соответственно. Расстояние между центрами Земли и Луны R.

5.76*. Какую наименьшую работу надо совершить, чтобы доставить космический корабль массой $m = 10^6$ кг с поверхности Земли на Луну?

5.77*. Космический корабль движется к Луне. На большом расстоянии от Луны скорость корабля относительно нее была нулевой. На какой высоте от поверхности Луны должен быть включен тормозной двигатель

[1] Считать потенциальную энергию на бесконечности равной нулю.

для осуществления мягкой посадки, если считать, что двигатель создает пятикратную перегрузку ($5g$)? Ускорение свободного падения на поверхности Луны в $n = 6$ раз меньше, чем на Земле ($g_Л = g/6$). Изменением массы корабля при торможении пренебречь. Ускорение свободного падения вблизи поверхности Луны считать постоянным.

Законы Кеплера

5.78. Наибольшее расстояние от Солнца до кометы Галлея составляет $35,4R$ (R — радиус земной орбиты), а наименьшее $0,6R$. Прохождение ее вблизи Солнца наблюдалось в 1986 г. В каком году произошло ее предыдущее прохождение?

5.79. Спутник связи «Молния-1» имеет перигей над южным полушарием Земли на высоте $h_1 = 500$ км, а апогей — на высоте $h_2 = 40\,000$ км над северным полушарием. Найти период обращения спутника.

5.80. Для перехода на траекторию приземления космическому кораблю, двигавшемуся по круговой орбите радиуса r, сообщен кратковременный тормозящий импульс. В результате корабль переходит на эллиптическую орбиту, касающуюся поверхности Земли (рис. 5.5). Оценить время приземления. Считать массу Земли известной.

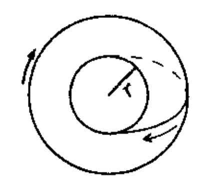


Рис. 5.5

5.81. В некоторый момент времени планета находится на расстоянии R от Солнца. В этот момент ее скорость равна v и вектор скорости планеты образует угол α с направлением от планеты на Солнце. Какую площадь опишет за время t радиус-вектор, проведенный от Солнца к планете?

5.82. С полюса Земли в горизонтальном направлении запускают ракету со скоростью v_0 больше первой, но меньше второй космической скорости. По какой траектории будет двигаться ракета? Найти величину максимального удаления ракеты от центра Земли R.

Таблица 5

Формулы	Обозначения	Единицы измерения
Закон всемирного тяготения		
$F = G \cdot \frac{m_1 m_2}{R^2}$;	F — сила	Н
$g = G \cdot \frac{M_З}{R_З^2}$	G — гравитационная постоянная	$6{,}67 \cdot 10^{-11}$ Н · м^2/кг^2
	R — расстояние между центрами масс	м
Зависимость g от высоты	g — ускорение свободного падения	9,8 м/с^2
$g_h = g \cdot \left(\frac{R_З}{R_З + h}\right)^2$;	$M_З$ — масса Земли	$5{,}98 \cdot 10^{24}$ кг
	$R_З$ — радиус Земли	$6{,}37 \cdot 10^6$ м
	g_h — ускорение свободного падения на высоте h	
$v_I = \sqrt{g_h (R_З + h)}$;	v_I — первая космическая скорость	м/с
$v_{II} = \sqrt{2 g_h (R_З + h)}$;	v_{II} — вторая космическая скорость	
$E_п = -G \frac{m_1 m_2}{R}$	$E_п$ — потенциальная энергия	Дж
Третий закон Кеплера		
$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3}$	T_1, T_2 — периоды обращения	с
	R_1, R_2 — большие полуоси	м

6. Механические колебания и волны

Колебания материальной точки

6.1. Грузик на пружине за 6 с совершил 18 колебаний. Найти период и частоту колебаний.

6.2. Груз на пружине за 1 мин совершает 36 колебаний. Определить период колебаний и циклическую частоту.

6.3. За 1 с комар совершает 600 взмахов крыльями, а период колебаний крыльев шмеля 5 мс. Какое из насекомых и на сколько сделает при полете большее количество взмахов за 1 мин?

6.4. Крылья пчелы колеблются с частотой $\nu = 240$ Гц. Сколько взмахов крыльями сделает пчела, пока долетит до цветочного поля, расположенного на расстоянии $s = 500$ м, если она летит со скоростью $v = 4$ м/с?

6.5. Найти амплитуду, период и частоту колебаний, если закон колебаний материальной точки имеет вид $x = 5\cos 6{,}28t$ (см).

6.6. Написать уравнение гармонических колебаний, если частота равна 0,5 Гц, амплитуда 80 см. Начальная фаза колебаний равна нулю. Построить график зависимости смещения от времени, если колебания происходят по синусоидальному закону.

6.7. Материальная точка совершает гармонические колебания по закону: $x = 0{,}2\sin\left(4\pi t - \frac{\pi}{4}\right)$. Найти амплитуду, период колебаний, начальную фазу колебаний и смещение точки в начальный момент времени.

6.8. Материальная точка совершает гармонические колебания с начальной фазой $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$, частотой $\nu = 2$ Гц и амплитудой $A = 3$ см. Записать закон колебания точки и построить график зависимости смещения от времени, если колебания совершаются по синусоидальному закону.

6.9. Написать уравнение гармонических колебаний, совершающихся по закону косинуса. За время $t = 1$ мин совершается $N = 60$ колебаний, амплитуда которых $A = 8$ см, а начальная фаза $\varphi_0 = \frac{3}{2}\pi$ рад. Построить график зависимости смещения от времени.

6.10. Материальная точка совершает гармонические колебания по закону косинуса с начальной фазой $\varphi_0 = -\pi$, амплитудой $A = 6$ см и циклической частотой $\omega_0 = 3\pi$. Чему равно смещение точки из положения равновесия в начальный момент времени?

6.11. Вычислить амплитуду гармонических колебаний, если для фазы $\varphi = \frac{\pi}{6}$ рад смещение $x = 6$ см. Колебания совершаются по синусоидальному закону.

6.12. Вычислить смещение колеблющейся точки через $t = 0{,}4$ с после начала колебаний. Колебания происходят по закону косинуса с амплитудой $A = 12$ см и частотой $\nu = 50$ Гц. Начальная фаза колебаний равна нулю.

6.13. На рисунке 6.1 приведен график зависимости смещения колеблющейся точки от времени. Найти амплитуду и период колебаний.

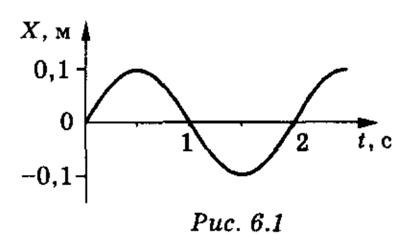


Рис. 6.1

6.14. Материальная точка совершает гармонические колебания по закону $x = 1{,}2\cos\pi\left(\frac{2t}{3} + \frac{1}{4}\right)$. Определить амплитуду, круговую частоту, период и начальную фазу колебаний. Найти амплитуды скорости и ускорения. Построить графики зависимости координаты, скорости и ускорения точки от времени.

6.15. Материальная точка совершает гармонические колебания с частотой $\nu = 0{,}5$ Гц. Амплитуда колебаний $A = 3$ см. Определить скорость точки в момент времени, когда смещение $x = 1{,}5$ см.

6.16. Точка совершает гармонические колебания по синусоидальному закону и в некоторый момент времени имеет модули смещения, скорости и ускорения: $x = 4 \cdot 10^{-2}$ м; $\upsilon = 0{,}05$ м/с; $a = 0{,}8$ м/с^2. Чему равна амплитуда и период колебаний точки? Чему равна фаза колебаний в рассматриваемый момент времени? Каковы максимальная скорость и ускорение точки?

6.17. Период гармонических колебаний $T = 4$ с. Определить время t_1, за которое тело, совершающее эти колебания, пройдет путь, равный половине амплитуды, если в начальный момент времени тело проходило положение равновесия; t_2 — путь, равный амплитуде; t_3 — путь, равный $\frac{3}{2}$ амплитуды.

6.18. Во сколько раз время прохождения колеблющейся точкой первой половины амплитуды меньше, чем время прохождения второй половины? В начальный момент времени точка проходит положение равновесия.

6.19. Написать закон гармонического колебания точки, если максимальное ускорение ее $a_{max} = 49{,}3$ см/с^2, период колебаний $T = 2$ с и смещение точки от положения равновесия в начальный момент времени $x_0 = 2{,}5$ см. Колебания совершаются по закону синуса.

6.20. Через какую долю периода скорость точки будет равна половине ее максимальной скорости? В начальный момент времени точка проходит положение равновесия.

6.21. Импульс тела, совершающего гармонические колебания, изменяется со временем по закону $p = p_0 \cos\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{6}\right)$, где p_0 — положительная постоянная. Через какое время после начала движения тело во второй раз достигнет положения равновесия?

6.22. Материальная точка совершает колебания по закону $x = 0{,}2 \cos(15\pi t + \pi)$. Считая, что масса точки $m = 0{,}1$ кг, найти силу, действующую на нее при $t = 1$ с, а также кинетическую и потенциальную энергии в этот момент времени. Чему равна полная энергия тела?

6.23. Движение тела массой $m = 2$ кг описывается законом $x = 0{,}8 \sin\left(\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$. Определить энергию колеблющегося тела и максимальную силу, действующую на него.

6.24. Какова амплитуда гармонических колебаний тела, если полная энергия колебаний $E = 10$ Дж, а максимальная сила, действующая на тело, $F_{max} = 10^{-3}$ Н?

6.25. Точка совершает гармонические колебания по закону $x = 5\sin(2t)$. Найти момент времени, когда возвращающая сила впервые достигла значения $F = 5 \cdot 10^{-3}$ Н, а потенциальная энергия стала $E_п = 6 \cdot 10^{-3}$ Дж.

6.26. Материальная точка массой m совершает гармонические колебания. На расстояниях x_1 и x_2 от положения равновесия скорости точки равны v_1 и v_2 соответственно. Найти амплитуду, циклическую частоту и полную энергию колебаний точки.

6.27. Полная энергия тела, совершающего гармонические колебания по синусоидальному закону, $E = 30$ мкДж; максимальная сила, действующая на тело, $F = 1{,}5$ мН. Написать закон движения этого тела, если период колебания $T = 2$ с и начальная фаза $\varphi_0 = \frac{\pi}{3}$.

6.28. Частица массой m совершает гармонические колебания под действием силы $F = -kx$. Максимальная скорость частицы v_0. Найти полную энергию частицы, амплитуду колебаний и частоту.

6.29. Найти отношения кинетической энергии точки, совершающей гармонические колебания по синусоидальному закону, к ее потенциальной энергии для моментов времени, когда смещение точки от положения равновесия составляет: а) $x = \frac{A}{4}$; б) $x = \frac{A}{2}$; в) $x = A$.

6.30°. Платформа совершает гармонические колебания в горизонтальной плоскости с частотой $\nu = 2$ Гц и амплитудой $A = 1$ см. На платформе лежит груз, коэффициент трения которого о платформу $\mu = 0{,}2$. Будет ли груз скользить по платформе? Ответ обосновать.

6.31°. На платформе, совершающей гармонические колебания в вертикальной плоскости с амплитудой A и периодом T, находится небольшое тело массой m. Определить максимальное значение силы давления тела на платформу. Найти условие, при котором тело в процессе колебаний не отрывается от платформы.

6.32. Тело массой m скользит по наклонной плоскости высотой H и углом α при основании α (рис. 6.2). У основания наклонной плоскости оно упруго ударяется о преграду и таким образом возникает периодическое движение тела. Определить период колебаний тела.

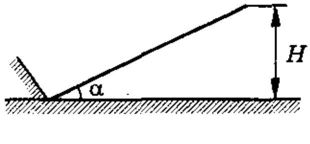


Рис. 6.2

6.33°. Будут ли гармоническими колебания, происходящие по закону $x = 3 \sin \omega t + 4 \cos \omega t$? Найти амплитуду, начальную фазу и циклическую частоту этих колебаний.

6.34*. Будет ли гармоническим колебание материальной точки, радиус-вектор которой изменяется по закону $\vec{r} = A \sin \omega t \cdot \vec{i} + A \cos 2\omega t \cdot \vec{j}$? Найти уравнение траектории движения точки и нарисовать ее.

Пружинный маятник

6.35. Определить период колебания груза массой $m = 0{,}1$ кг, подвешенного к пружине с коэффициентом жесткости $k = 10$ Н/м.

6.36. Во сколько раз нужно увеличить коэффициент жесткости пружины, чтобы период колебаний груза, подвешенного на ней, уменьшился в 4 раза?

6.37. Как изменился период колебаний пружинного маятника, если его масса уменьшилась в $n = 9$ раз?

6.38. Груз какой массы следует прикрепить к пружине жесткостью $k = 10$ Н/м, чтобы его период колебаний был равен $T = 5$ с?

6.39. Определить массу груза, который на пружине жесткостью $k = 250$ Н/м делает $N = 20$ колебаний за время $t = 16$ с.

6.40. Во сколько раз уменьшится период колебаний груза, подвешенного на резиновом жгуте, если отрезать $\frac{3}{4}$ длины жгута и подвесить на оставшуюся часть тот же груз?

6.41. Под действием силы $F = 2$ Н пружина растягивается на $\Delta x = 1$ см. К этой пружине прикрепили груз массой $m = 2$ кг. Найти период колебаний данного пружинного маятника.

6.42. Если на резиновом шнуре подвесить груз, то шнур растягивается на $l = 39{,}24$ см. Найти период малых вертикальных колебаний груза.

6.43. Период колебаний груза на пружине $T = 0{,}5$ с. На сколько уменьшится длина пружины, если снять с нее груз?

6.44. К пружине подвешена чашка с грузом. Период гармонических колебаний в вертикальном направлении у этой системы равен T_1. После того как на чашку положили дополнительно грузик, период колебаний стал равен T_2. Определить, на сколько изменилось положение равновесия у этой системы.

6.45. К пружине подвешивают поочередно два различных грузика. Период гармонических колебаний первого грузика равен T_1, второго — T_2. Чему будет равен период колебаний, если к этой же пружине подвесить одновременно два грузика? если грузики, соединенные вместе, подвесить к концам двух таких пружин, закрепленных другими концами в точке подвеса?

6.46. Если к пружине подвесить поочередно два разных груза, пружина удлиняется на $\Delta x_1 = 1$ см и $\Delta x_2 = 2$ см соответственно. Определить период колебаний, когда к пружине подвешены оба груза.

6.47. На легкой, вертикально расположенной пружине подвешена пластина массой $m_0 = 20$ г, на которой лежит грузик массой $m_1 = 5$ г. Период колебаний такой системы равен $T = 1$ с. Затем грузик заменяют другим массой $m_2 = 25$ г. Каким станет удлинение пружины при равновесии?

6.48. Груз массой $m_1 = 100$ г, подвешенный на пружине, совершает колебания. Когда к пружине с грузом подвесили еще один груз, частота колебаний уменьшилась в $n = 2$ раза. Определить массу второго груза.

6.49. На двух пружинах подвешены грузы массами $m_1 = 100$ г и $m_2 = 50$ г соответственно. При этом пружины удлиняются на одинаковую величину. Определить отношение периодов колебаний этих систем. Каков период колебаний первого груза, если жесткость второй пружины $k_2 = 10$ Н/м? Найти жесткость первой пружины.

6.50. Стеклянный и деревянный шары, подвешенные на одинаковых пружинах, совершают колебания в вертикальной плоскости. Определить отношение периодов колебаний этих шаров, если радиус стеклянного шара в $n = 4$ раза меньше радиуса деревянного. Плотность стекла $\rho_с = 2400$ кг/м^3, плотность дерева $\rho_д = 600$ кг/м^3.

6.51. Во сколько раз отличаются периоды колебаний пружинных маятников одинаковой массы, составленных из двух пружин жесткостями k_1 и k_2, соединенных один раз последовательно, а другой раз параллельно?

6.52. На гладком столе лежат два одинаковых бруска, массой m каждый, соединенных пружиной жесткостью k. Если пружину растянуть, то бруски начнут колебаться. Найти период малых колебаний системы.

6.53. На пружине жесткостью $k = 40$ Н/м подвешен груз массой $m = 500$ г. Построить график зависимости смещения этого груза, если амплитуда $A = 10$ см, а в начальный момент времени груз проходил положение равновесия.

6.54. Груз массой 2 кг подвешен на пружине и совершает колебания, график которых приведен на рисунке 6.3. Определить жесткость пружины.

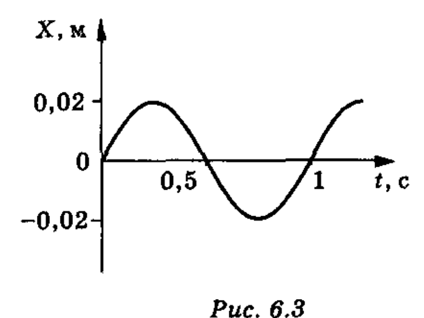


Рис. 6.3

6.55. Телу массой m, подвешенному на пружине жесткостью k, в положении равновесия сообщают скорость v, направленную вертикально вниз. Определить путь, пройденный телом, за промежуток времени от $t_1 = \frac{T}{8}$ до $t_2 = \frac{T}{4}$, считая возникающие колебания гармоническими.

6.56. Тело, подвешенное на пружине, смещают из положения равновесия вертикально вниз на расстояние x_0 и отпускают. Определить путь,

пройденный телом за промежуток времени от $t_1 = \frac{T}{4}$ до $t_2 = \frac{3T}{8}$, считая возникающие колебания гармоническими.

6.57. Груз массой m = 200 г, подвешенный на пружине, совершает гармонические колебания с частотой ω = 6 рад/с и амплитудой A = 2 см. Определить энергию колебаний груза.

6.58. Груз массой m = 270 г колеблется на пружине жесткостью k = 56 Н/м с амплитудой A = 4,2 см. Найти полную механическую энергию колебаний. Определить потенциальную и кинетическую энергию колебаний в тот момент, когда смещение груза x = 3,1 см.

6.59. Тело массой m = 100 г растягивает пружину на Δx = 4,9 см. Чему равна полная энергия колебаний этого тела, если его сместить по вертикали на x_0 = 10 см и отпустить?

6.60. К двум разным пружинам подвешены грузы одинаковой массы, при этом отношение удлинений пружин $\frac{\Delta x_1}{\Delta x_2} = 2$. Определить отношение энергии этих систем, если они совершают колебания с одинаковыми амплитудами.

6.61. Груз массой m = 10 г подвешен на пружине жесткостью k = 1 Н/м. Определить амплитудные значения смещения, скорости, а также период колебаний, если полная энергия колебаний E = 0,1 Дж.

6.62. Небольшой груз массой m = 100 г подвешен на пружине и совершает гармонические колебания. Известны: наибольшая скорость груза v_{max} = 0,1 м/с и наибольшее его отклонение от положения равновесия x_{max} = 1 см. Какова жесткость пружины k?

6.63. Определить массу груза, колеблющегося на пружине жесткостью k = 300 Н/м, если при амплитуде колебаний A = 2 см он имеет максимальную скорость v = 3 м/с.

6.64. Определить максимальное смещение от положения равновесия груза массой m = 640 г, закрепленного на пружине жесткостью k = 400 Н/м, если он проходит положение равновесия со скоростью v = 1 м/с.

6.65. К пружине, верхний конец которой закреплен, подвешен груз массой m = 0,1 кг. Жесткость пружины k = 40 Н/м. Определить период вертикальных колебаний системы и амплитуду колебаний, если в начальный момент времени груз оттянут вниз от положения равновесия на расстояние x_0 = 10 см и ему сообщена скорость v_0 = 3,5 м/с, направленная вверх.

6.66°. На материальную точку, подвешенную на пружине жесткостью $k = 2 \cdot 10^3$ Н/м, действует вниз в вертикальном направлении сила $F = 7{,}2 \cdot 10^3$ Н в течение времени $t = 10^{-3}$ с. Найти амплитуду возникших после действия силы гармонических колебаний. Масса точки $m = 0{,}8$ кг.

6.67. На чашку пружинных весов осторожно кладут груз. Система начинает колебаться с амплитудой $A = 5$ см. Каков период колебаний груза?

6.68. На чашку, подвешенную к пружине с коэффициентом жесткости k, падает с высоты h груз массой m и прилипает к ней (рис. 6.4). Определить амплитуду возникающих при этом колебаний чашки. Массой чашки пренебречь.

6.69°. Груз массой m сбрасывается с высоты h на чашку пружинных весов. Жесткость пружины k, масса чашки M. Определить амплитуду колебаний. При какой высоте произойдет отрыв груза от чашки в верхней точке? Считать, что удар груза о чашку неупругий, но груз не прилипает к чашке (рис. 6.4).

6.70°. На чашку пружинных весов падает с высоты $H = 30$ см кусок пластилина массой $m = 50$ г и прилипает к чашке (рис. 6.4). Масса чашки $M = 200$ г, коэффициент жесткости пружины $k = 100$ Н/м. Найти зависимость модуля скорости системы после соударения от величины растяжения пружины.

6.71°. Закрепленная на концах струна длиной l растянута силой F. К середине струны прикреплен груз массой m. Определить период малых колебаний системы. Массой струны пренебречь, силу тяжести груза не учитывать.

6.72. Шарик массой m закреплен при помощи двух пружин (рис. 6.5), жесткости которых k_1 и k_2. Найти частоту колебаний шарика. Как изменится частота, если пружины поменять местами?

6.73°. Груз массой $m = 0{,}1$ кг подвешен на пружине жесткостью $k_1 = 16$ Н/м с помощью невесомой нерастяжимой нити (рис. 6.6). Какой

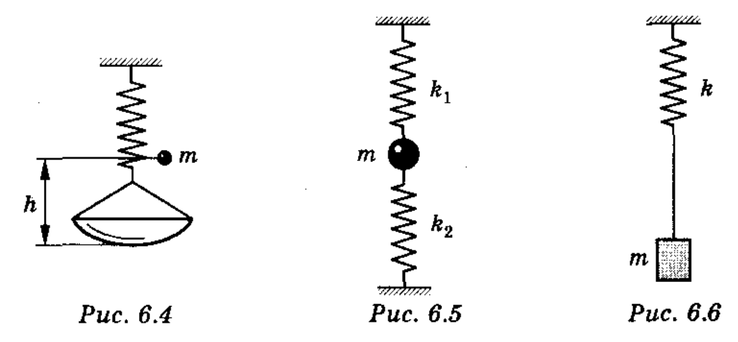


Рис. 6.4 *Рис. 6.5* *Рис. 6.6*

может быть максимальная амплитуда колебаний груза, чтобы они были гармоническими?

6.74. Шарик массой m совершает колебания с амплитудой A на пружине жесткостью k. На расстоянии $\frac{A}{2}$ от положения равновесия установили массивную стальную плиту, от которой шарик абсолютно упруго отскакивает. Найти период колебаний шарика в этом случае.

6.75*. Два одинаковых шара, соединенных недеформированной пружиной, движутся по гладкой поверхности со скоростью $v_0 = 0{,}7$ м/с, направленной вдоль пружины, к такому же покоящемуся шару (рис. 6.7). Происходит абсолютно упругий центральный удар. Определить максимальную и минимальную длину пружины при движении шаров после соударения. Длина недеформированной пружины равна $l_0 = 10$ см, коэффициент жесткости $k = 10$ Н/м. Масса каждого шара $m = 50$ г.



Рис. 6.7 *Рис. 6.8*

6.76*. На гладком горизонтальном столе лежат два одинаковых кубика массой m каждый. Кубики соединены недеформированной пружиной жесткостью $k = 500$ Н/м. Длина пружины в недеформированном состоянии $l_0 = 20$ см. На один из кубиков начинает действовать постоянная сила $F = 10$ Н, направленная вдоль пружины ко второму кубику. Найти минимальное и максимальное расстояния между кубиками при их движении.

6.77°. Грузы, массой $m = 1$ кг и $M = 4$ кг, соединили пружиной. Систему положили на гладкий горизонтальный стол. Пружину немного сжали и с двух сторон поставили упоры, не дающие грузам разъезжаться (рис. 6.8). Если убрать один из упоров, то система начнет двигаться. Во сколько раз изменится максимальное удлинение пружины, если убрать не этот, а другой упор?

Математический маятник

6.78. Какую длину имеет математический маятник с периодом колебаний $T = 1$ с?

6.79. Во сколько раз изменится частота колебаний математического маятника при увеличении длины нити в 3 раза?

6.80. Как относятся длины математических маятников, если за одно и то же время один совершил $n_1 = 10$, а другой $n_2 = 30$ колебаний?

6.81. Определить длину нити математического маятника, если он совершает одно качание[1] в 1 с.

6.82. Маятник длиной $l = 2$ м совершает за время $t = 1$ ч $N = 2536$ качаний. Определить ускорение свободного падения по этим данным.

6.83. Определить ускорение свободного падения на Луне, если маятниковые часы идут на ее поверхности в 2,46 раза медленнее, чем на Земле.

6.84. Математический и пружинный маятники совершают колебания с одинаковым периодом. Определить массу груза пружинного маятника, если коэффициент жесткости пружины $k = 20$ Н/м. Длина нити математического маятника $l = 0,4$ м.

6.85. Один математический маятник имеет период $T_1 = 3$ с, а другой — $T_2 = 4$ с. Каков период колебания математического маятника, длина которого равна сумме длин данных маятников?

6.86. Математический маятник подвешен вблизи вертикальной стены и колеблется в плоскости, параллельной стене. В стену вбит гвоздь так, что середина нити маятника наталкивается на него каждый раз, когда маятник проходит положение равновесия справа налево (рис. 6.9). Найти длину нити, если период колебаний такого маятника (с помехой в виде гвоздя) $T = 2,41$ с.

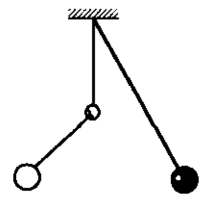


Рис. 6.9

6.87*. Математический маятник длиной $l = 1$ м отводят из положения равновесия и отпускают. Сколько раз за время $\Delta t = 8,1$ с ускорение маятника будет достигать максимального значения?

6.88. Шарик подвешен на длинной нити. Первый раз его поднимают по вертикали до точки подвеса, второй раз отклоняют на небольшой угол. В каком из этих случаев шарик быстрее возвратится к начальному положению?

6.89. Два математических маятника начинают колебаться одновременно. Когда первый маятник совершил $N_1 = 20$ полных колебаний, второй совершил только $N_2 = 10$ полных колебаний. Какова длина l_1 первого маятника, если длина второго $l_2 = 4$ м?

---

[1] Одно колебание складывается из двух качаний.

6.90. На сколько уйдут вперед маятниковые часы за сутки, если их с экватора перенесли на полюс? Ускорение свободного падения на экваторе и полюсе $g_э = 9,78$ м/с^2 и $g_п = 9,83$ м/с^2 соответственно.

6.91. Маятниковые часы за $t = 1$ сут отстают на $\Delta t = 1$ ч. Что надо сделать с маятником, чтобы они шли верно?

6.92. На сколько надо уменьшить длину маятника, чтобы он в Париже, как и в Москве, отсчитывал секунды? Ускорение свободного падения для Москвы 981,5 см/с^2, а для Парижа — 981 см/с^2.

6.93. На какую высоту над поверхностью Земли нужно поднять математический маятник, чтобы период его малых колебаний изменился в n раз? Как изменится период? Радиус Земли известен.

6.94. Одно из самых высоких мест на Земле, где постоянно проживают люди, находится на высоте $h = 5200$ м над уровнем моря. На сколько будут уходить за сутки маятниковые часы, выверенные на этой высоте, если их перенести на уровень моря? Радиус Земли известен.

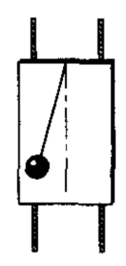
6.95. Период колебаний математического маятника на высоте H над поверхностью Земли равен T. В шахту какой глубины h следует опустить этот маятник, чтобы период колебаний его не изменился?

6.96. Какую длину должен иметь маятник Фуко, если представить себе, что он установлен на планете, плотность которой равна плотности Земли, а радиус в 2 раза меньше? Маятник совершает три колебания в минуту.

6.97. Вблизи рудного месторождения период колебаний маятника изменился на $\eta = 0,1\%$. Плотность руды в месторождении $\rho = 8$ г/см^3. Оценить радиус месторождения R_1, если средняя плотность Земли $\rho_З = 5,6$ г/см^3.

6.98. Определить отношение периодов колебаний математического маятника на некоторой планете и на Земле, если масса планеты в $n = 6,25$ раза больше массы Земли, а ее радиус в $k = 2$ раза меньше земного.

6.99. Маятник прикреплен к доске, которая может свободно без трения падать по направляющим тросам. Перед началом падения маятник был отклонен от положения равновесия (рис. 6.10). Будет ли маятник совершать колебания во время падения?


Рис. 6.10

6.100. Один конец нити прикреплен к потолку лифта, а на другом — укреплен груз пренебрежимо малого размера. Лифт начинает опускаться с ускорением $a = 0,81$ м/с^2. Каков период малых колебаний груза, если длина нити $l = 1$ м?

6.101. Лифт движется вверх ускоренно в течение времени t_1, а потом замедленно в течение времени t_2. В лифте находится маятник длиной l. Сколько колебаний он сделает за все время движения, если ускорение на первом участке a_1, а на втором a_2?

6.102. В ракете помещены математический и пружинный маятники с одинаковым периодом колебаний $T = 1$ с. Ракета начинает движение вертикально вверх с ускорением $a = 10g$. На высоте $h = 50$ км двигатель выключается и ракета продолжает подниматься по инерции. Сколько колебаний сделает каждый маятник за время работы двигателя ракеты и за все время подъема? Сопротивлением воздуха и уменьшением силы земного тяготения с высотой пренебречь.

6.103. Математический маятник длиной $l = 1$ м подвешен в вагоне, движущемся горизонтально с ускорением $a = 6$ м/с^2. Найти период колебаний этого маятника. Какой угол составляет линия отвеса маятника с вертикалью в движущемся вагоне при отсутствии колебаний?

6.104. Математический маятник укреплен на тележке. Его период колебаний $T = 1$ с. Тележка скатывается (без трения) с наклонной плоскости, образующей угол $\alpha = 30°$ с горизонтом. Найти период колебаний маятника во время скатывания тележки.

6.105. Точка подвеса математического маятника длиной l укреплена в ракете. Ракета движется с ускорением a под углом φ к горизонту. Найти период колебаний маятника T.

6.106°. Для создания искусственной тяжести на пассивном участке полета две части космического корабля (отношение масс 1 : 2) разводятся на расстояние l и приводятся во вращение вспомогательным двигателем относительно их общего центра масс. Определить период вращения, если маятниковые часы в кабине космонавта, расположенной в более массивной части корабля, идут вдвое медленнее, чем на Земле.

6.107°. Космический корабль вращается вокруг своей оси с угловой скоростью ω. Как зависит период колебания математического маятника длиной l от расстояния R точки подвеса до оси вращения? Плоскость колебания проходит через ось вращения.

6.108. Маленький шарик, подвешенный на невесомой нерастяжимой нити длиной $l = 1$ м, выводят из положения равновесия так, что нить составляет малый угол с вертикалью, и отпускают. Через какой промежуток времени угол между нитью и вертикалью уменьшится вдвое?

6.109. Математический маятник, отведенный на угол α_0 от вертикали, проходит положение равновесия со скоростью v. Считая колебания гармоническими, найти частоту собственных колебаний маятника.

6.110. В процессе гармонических колебаний грузик математического маятника имеет максимальную скорость υ_{max} = 3 м/с и максимальное ускорение a_{max} = 3,14 м/с^2. Чему равен период колебаний маятника?

6.111. Математический маятник длиной l = 1 м отводят от положения равновесия и отпускают. Сколько раз за время Δt = 6,7 с кинетическая энергия маятника достигнет максимального значения? Возникающие колебания считать гармоническими.

6.112. Два математических маятника, один длиной l = 10 см, а другой длиной $2l$, совершают колебания с одинаковыми угловыми амплитудами. Определить периоды колебаний маятников и отношение их энергий, если массы шариков одинаковы.

6.113. Математический маятник длиной l = 50 см совершает гармонические колебания с амплитудой A = 1 см. Найти модуль ускорения маятника в положении, когда его смещение из положения равновесия равно половине максимального.

6.114°. При колебаниях математического маятника осуществляется следующая операция: в моменты прохождения маятником положения равновесия длина нити подвеса уменьшается на Δl, а при максимальных отклонениях маятника вновь увеличивается до первоначальной длины. Возрастает или уменьшается при этом энергия маятника? Какие изменения в движении маятника вызывает такая операция? Точка крепления нити маятника неподвижна.

Колебательные системы

6.115. Найти частоту малых колебаний маятника, изображенного на рисунке 6.11. Длина нити l = 1 м; масса шарика m = 1 кг, жесткость каждой пружины k = 7,5 Н/м.

6.116. В цилиндрическом ведре массой M, высотой H и площадью сечения S (рис. 6.12) насыпан песок, плотность которого ρ. Расстояние от точки подвеса до дна ведра l (l >> H). Считая дно ведра невесомым,

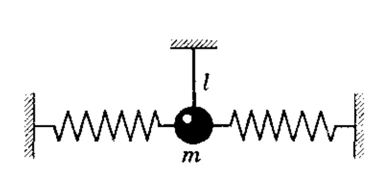




Рис. 6.11

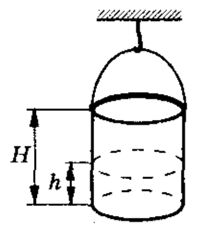


Рис. 6.12

найти зависимость частоты малых собственных колебаний получившегося маятника от уровня песка в ведре.

6.117. Две трубы расположены горизонтально и параллельно друг другу (рис. 6.13). Расстояние между осями труб l. Трубы вращаются вокруг своих осей навстречу друг другу. Поперек труб положили доску массой m. Коэффициент трения между доской и вращающейся трубой равен μ. Найти период продольных колебаний доски.

6.118. Вообразим, что между Москвой и Владивостоком прорыт прямолинейный тоннель (рис. 6.14), в котором проложены рельсы. Как будет вести себя вагон, поставленный на эти рельсы, если не будет трения и сопротивления воздуха? Сколько времени он будет двигаться из Москвы до Владивостока? (Начальная скорость вагона равна нулю.)

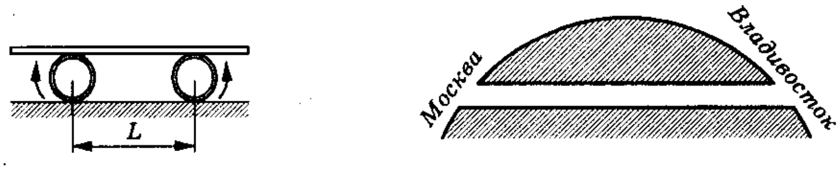


Рис. 6.13 *Рис. 6.14*

6.119. К оси подвижного легкого блока, подвешенного на невесомой нерастяжимой нити AB, соединенной с двумя пружинами жесткостью $k_1 = 10$ Н/м и $k_2 = 20$ Н/м, прикреплено тело массой $m = 100$ г так, как показано на рисунке 6.15. Блок может свободно скользить по нити. Пренебрегая трением в оси блока, определить период малых колебаний тела.

6.120. На гладком горизонтальном столе лежит брусок массой $m = 0{,}1$ кг. Брусок соединен с вертикальными стойками: с левой стойкой через легкий блок, пружину жесткостью $k_1 = 20$ Н/м и нить AB; с правой — с помощью пружины жесткостью $k_2 = 40$ Н/м (рис. 6.16). Блок может свободно скользить по нити. Пренебрегая трением в оси блока, определить период малых колебаний тела. В положении равновесия обе пружины растянуты.

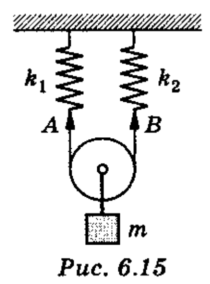


Рис. 6.15

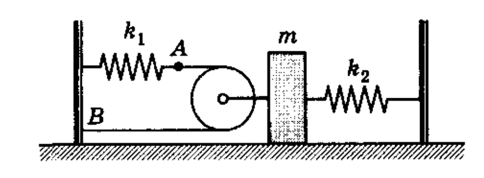


Рис. 6.16

6.121. К колесу радиусом R с горизонтально расположенной осью прикрепили на ободе грузик массой m. Найти массу колеса M, предполагая ее однородно распределенной по ободу, если частота малых колебаний колеса вокруг оси равна ω.

6.122°. Кинетическая энергия осциллятора (точки, колеблющейся по гармоническому закону) $E_к = \frac{mv^2}{2}$, а потенциальная — $E_п = \frac{kx^2}{2}$. Показать, что наличие потерь мощности $\Delta N = bv^2$ эквивалентно наличию тормозящей силы $F = -bv$.

6.123°. Частица колеблется по закону $x = A\cos(\omega t - \varphi)$ под действием силы $F = F_0 \cos \omega t$. Какова средняя мощность этой силы?

6.124°. Груз массой $m = 0{,}1$ кг, подвешенный на нити длиной $l = 0{,}1$ м, совершает колебания в вертикальной плоскости, при которых угол отклонения груза от положения равновесия изменяется по закону $\varphi = 0{,}1 \sin 50t$. Найти силу натяжения нити и линейную скорость в момент прохождения грузом положения равновесия. Какова максимальная сила натяжения нити?

6.125°. Тело массой m колеблется на пружине по закону $x = A\cos\omega t$. С момента времени t_0 на него начинает действовать постоянная сила F, направленная вдоль пружины. Определить амплитуду колебаний *относительно нового положения равновесия*. В какой момент времени надо приложить силу, чтобы амплитуда была наибольшей? наименьшей? Сила противоположна направлению оси X.

6.126. При какой скорости поезда тело массой $m = 0{,}1$ кг, подвешенное в вагоне на пружине жесткостью $k = 10$ Н/м, будет иметь максимальную амплитуду колебаний, если расстояния между стыками рельсов $l = 12{,}5$ м?

Волны

6.127. Как на слух определить, кто чаще взмахивает крылышками — комар или муха?

6.128. Как на слух отличить, работает электродрель вхолостую или сверлит отверстие?

6.129. Почему летучие мыши даже в полной темноте не натыкаются на препятствия?

6.130. На частоту или длину волны реагирует человеческое ухо?

6.131. Определить максимальную и минимальную длины λ звуковых волн, воспринимаемых человеком. Скорость звука $v = 340$ м/с, граничные частоты $v_1 = 20$ Гц и $v_2 = 20\,000$ Гц.

6.132. Длина звуковой волны в воздухе для самого низкого мужского голоса $\lambda_1 = 4{,}3$ м, а для самого высокого женского голоса $\lambda_2 = 25$ см. Найти частоты колебаний этих голосов.

6.133. По поверхности воды в озере волна распространяется со скоростью $v = 6$ м/с. Каковы период и частота колебаний бакена, если длина волны $\lambda = 3$ м?

6.134. Рыболов заметил, что за время $t = 10$ с поплавок совершил на волнах $n = 20$ колебаний, а расстояние между соседними гребнями волн $\lambda = 1{,}2$ м. Какова скорость распространения волн?

6.135. Человек, стоящий на берегу моря, определил, что расстояние между следующими друг за другом гребнями $\Delta r = 12$ м. Кроме того, он подсчитал, что за $t = 75$ с мимо него прошло $n = 16$ волновых гребней. Определить скорость распространения волн.

6.136. Лодка качается на волнах, распространяющихся со скоростью $v = 1{,}5$ м/с. Расстояние между двумя ближайшими гребнями волн $\Delta r = 6$ м. Определить период колебаний лодки.

6.137. Найти разность фаз колебаний двух точек, лежащих на луче и отстоящих на расстоянии $\Delta r = 2$ м друг от друга. Длина волны $\lambda = 1$ м.

6.138. Звук распространяется в воде со скоростью $v = 1450$ м/с. Расстояние между ближайшими точками, в которых колебания частиц совершаются в противофазе, $\Delta r = 0{,}1$ м. Какова частота звука?

6.139. Две точки находятся на прямой, вдоль которой распространяются волны со скоростью $v = 50$ м/с. Период колебаний $T = 0{,}05$ с, расстояние между точками $\Delta r = 0{,}5$ м. Найти разность фаз колебаний в этих точках.

6.140. Уравнение волны имеет вид $x = \sin 2{,}5\pi t$. Найти смещение от положения равновесия, скорость и ускорение точки, находящейся на расстоянии $r = 20$ м от источника колебаний, для момента времени $t = 1$ с после начала колебаний. Скорость распространения колебаний $v = 100$ м/с.

6.141. Какую волну — продольную или поперечную — описывает уравнение $y = a\cos(\omega t - kx)$?

6.142. Вдоль некоторой прямой распространяются колебания с периодом $T = 0{,}25$ с и скоростью $v = 48$ м/с. Спустя $t = 10$ с после возникнове-

ния колебаний в исходной точке на расстоянии $r_1 = 43$ м от нее смещение точки оказалось равным $x_1 = 3$ см. Оценить в тот же момент времени смещение и фазу колебаний в точке, отстоящей на $r_2 = 45$ м от источника колебаний. Колебания распространяются по синусоидальному закону.

6.143. Две точки находятся на расстояниях $r_1 = 16$ м и $r_2 = 12$ м от источника колебаний. Найти разность фаз колебаний этих точек, если период колебаний $T = 0{,}04$ с, а скорость их распространения $v = 300$ м/с.

6.144. На рисунке 6.16 дана «моментальная фотография» смещения x частиц среды, в которой распространяется вдоль оси r упругая волна. Указать направление скорости частиц в точках A, B, C для продольной и поперечной волн.

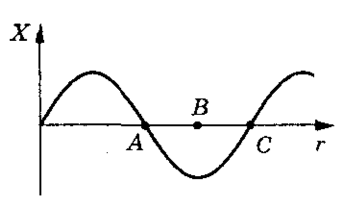


Рис. 6.16

6.145. Упругая волна переходит из среды, в которой ее скорость равна v, в среду, где ее скорость в два раза меньше. Что происходит с частотой и длиной волны?

6.146. Расстояние до преграды, отражающей звук, $r = 68$ м. Через какое время человек услышит эхо? Скорость звука $v = 340$ м/с.

6.147°. Автомобиль удаляется со скоростью v от длинной стены, двигаясь под углом α к ней. В момент, когда расстояние до стены равно l, шофер подает короткий звуковой сигнал. Какое расстояние пройдет автомобиль до момента, когда шофер услышит эхо? Скорость звука в воздухе u.

6.148*. Отходящий пароход начинает давать свисток, соответствующий звуковым колебаниям частоты $\nu_1 = 400$ Гц. Находящийся на берегу человек слышит звук свистка с частотой $\nu_2 = 395$ Гц. С какой скоростью отходит пароход, если скорость звука $v = 340$ м/с?

6.149*. Найти длину волны колебаний, если расстояние между первой и четвертой пучностями стоячей волны $\Delta r = 15$ см.

6.150*. На шнуре длиной $l = 3$ м, один конец которого привязан к стене, а другой колеблется с частотой $\nu = 5$ Гц, возбуждаются стоячие волны. При этом между источником и стеной образуется $n = 6$ узлов. Найти скорость распространения волны в шнуре.

6.151*. Какова частота колебаний камертона, если создаваемые им волны распространяются со скоростью $v = 330$ м/с, а расстояние между узлами образующихся стоячих волн $\Delta r = 25$ см?

6. Механические колебания и волны

Таблица 6

Формулы	Обозначения	Единицы измерения
Гармонические колебания $x = A\cos(\omega t + \varphi_0)$;	x — координата	1 м
$\omega = 2\pi\nu$; $\nu = \frac{1}{T}$	A — амплитуда	1 м
	ω — циклическая частота	1 $с^{-1}$
	$\varphi = \omega t + \varphi_0$ — фаза	1 рад
	ν — частота	1 Гц
Пружинный маятник $F_x = -kx$;	T — период колебаний	1 с
$a_x = -\frac{k}{m}x$;	m — масса	1 кг
$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$; $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$	k — жесткость	1 Н/м
Математический маятник	l — длина маятника	1 м
$a_x = -\frac{g}{l}x$;	g — ускорение свободного падения	$\approx 9{,}8$ м/$с^2$
$a \approx -\frac{g}{l}\alpha$; $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$;	λ — длина волны	1 м
$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$	υ — скорость распространения волны	1 м/с
Волны	t — время	1 с
$\lambda = \upsilon T$; $\upsilon = \lambda\nu$	x — смещение	1 м
Уравнение плоской волны	r — расстояние от источника волн до точки, участвующей в колебательном процессе	1 м
$x = A\sin 2\pi\left(\nu t - \frac{r}{\lambda}\right)$	S — источник волн	

7. Динамика твердого тела

Момент инерции тела

7.1. Определить момент инерции материальной точки, масса которой $m = 30$ г, относительно оси, отстоящей от точки на расстояние $r = 20$ см.

7.2. Два маленьких шарика одинаковой массы $m = 10$ г соединены стержнем, длина которого $l = 20$ см, а масса ничтожно мала. Определить момент инерции системы относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через центр масс системы.

7.3. Два маленьких шарика, массы которых $m_1 = 40$ г, $m_2 = 120$ г, соединены стержнем, длина которого $l = 20$ см, а масса ничтожно мала. Определить момент инерции системы относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей: а) через середину стержня; б) сквозь центр масс системы.

7.4. Три маленьких шарика, массой $m = 10$ г каждый, расположены в вершине равностороннего треугольника со стороной $a = 0{,}2$ м и скреплены между собой невесомыми стержнями. Определить момент инерции системы относительно оси: а) перпендикулярной плоскости треугольника и проходящей через центр описанной окружности; б) лежащей в плоскости треугольника и проходящей через центр описанной окружности и одну из его вершин.

7.5. Определить момент инерции тонкого однородного стержня длиной $l = 30$ см и массой $m = 100$ г относительно оси: а) параллельной стержню и отстоящей от него на расстоянии $r = 20$ см; б) перпендикулярной стержню и проходящей через его конец; в) перпендикулярной стержню и проходящей через его середину; г) точку, отстоящую от конца стержня на $\eta = \frac{1}{3}$ его длины.

7.6. На концах тонкого однородного стержня длиной l и массой $3m$ прикреплены шарики, массы которых m и $2m$ соответственно. Определить момент инерции такой системы относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через: а) шарик массой m; б) точку, отстоящую на $r = \frac{1}{3}l$ от шарика массой m; в) середину стержня.

7.7. Определить момент инерции тонкого однородного кольца радиусом $R = 20$ см и массой $m = 100$ г относительно оси, перпендикулярной кольцу и проходящей через: а) его центр; б) любую точку на нем.

7.8. Определить момент инерции однородного диска радиусом $R = 20$ см и массой $m = 1,0$ кг относительно оси перпендикулярной плоскости диска и проходящей через: а) центр диска; б) середину одного из радиусов диска.

7.9. Найти момент инерции плоской однородной прямоугольной пластины массой $m = 900$ г относительно оси, совпадающей с одной из сторон, если длина другой стороны $a = 20$ см.

7.10. Найти момент инерции земного шара относительно собственной оси вращения.

Основное уравнение динамики вращательного движения

7.11. Маховик, момент инерции которого $J = 63,6$ кг · м^2, вращается с постоянной угловой скоростью $\omega = 31,4$ рад/с. Найти тормозящий момент, под действием которого маховик останавливается через $t = 20$ с.

7.12. К ободу колеса, имеющего форму диска, радиус которого $R = 0,5$ м и масса $m = 50$ кг, приложена касательная сила $F = 100$ Н. Найти: а) угловое ускорение колеса ε; б) через какое время после начала действия силы колесо будет иметь частоту вращения $n = 100$ об/с.

7.13. Маховик радиусом $R = 0,2$ м и массой $m = 10$ кг соединен с мотором при помощи ремня. Сила натяжения ремня, идущего без скольжения, постоянна и $T = 14,7$ Н. Какое число оборотов в секунду будет делать маховик через промежуток времени $\Delta t = 10$ с после начала движения? Маховик считать однородным диском. Трением пренебречь.

7.14. Маховое колесо, имеющее момент инерции $J = 245$ кг · м^2, вращается, делая $n = 20$ об/с. Через промежуток времени $\Delta t = 1$ мин, после того как на колесо перестал действовать вращающий момент, оно остановилось. Найти: а) момент сил трения; б) число оборотов, которое сделало колесо до полной остановки после прекращения действия сил.

7.15. Вал массой $m = 100$ кг и радиусом $R = 5$ см вращается с частотой $n = 8$ с$^{-1}$. К цилиндрической поверхности вала прижимают тормозную колодку силой $F = 40$ Н, под действием которой вал останавливается через промежуток времени $\Delta t = 10$ с. Определить коэффициент трения μ.

7.16. Через неподвижный блок перекинута нить, к концам которой привязаны грузики $m_1 = 100$ г и $m_2 = 110$ г. С каким ускорением будут двигаться грузики, если масса блока $m = 400$ г? Трением в блоке пренебречь.

7.17. Два тела, массы которых $m_1 = 0{,}25$ кг и $m_2 = 0{,}15$ кг, связаны нитью, переброшенной через блок (рис. 7.1). Блок массой $m = 0{,}1$ кг укреплен на краю горизонтального стола, по поверхности которого скользит тело массой m_1. Коэффициент трения тела m_1 о поверхность стола $\mu = 0{,}2$. С каким ускорением движутся тела и каковы силы натяжения нити по обе стороны от блока? Массу блока можно считать равномерно распределенной по ободу, трением в подшипниках оси блока пренебречь.

7.18. Шар массой $m = 10$ кг и радиусом $R = 0{,}2$ м вращается вокруг оси, проходящей через его центр. Закон движения шара имеет вид $\varphi = A + Bt^2 + Ct^3$, где $B = 4$ рад/с², $C = -1$ рад/с³. Найти зависимость момента сил, действующих на шар, от времени. Чему будет равен момент сил M в момент времени $t = 2$ с?

7.19. Тонкий однородный стержень длиной $l = 1$ м может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через точку O на стержне (рис. 7.2). Стержень отклонили на угол $\alpha = 30°$ и отпустили. Определить для начального момента времени угловое ε и тангенциальное a_τ ускорение точки B на стержне, если $a = \frac{1}{3}l$; $b = \frac{2}{3}l$.

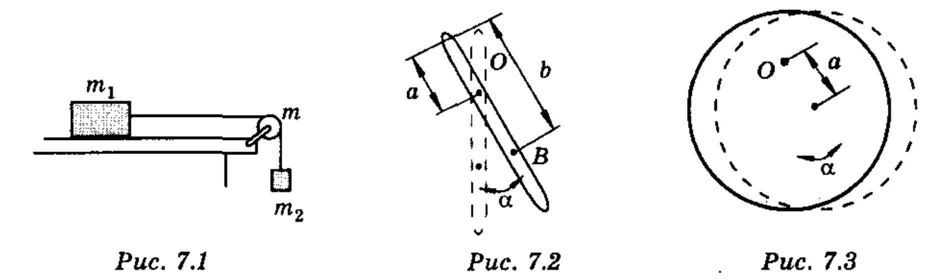


Рис. 7.1 Рис. 7.2 Рис. 7.3

7.20. Тонкий однородный стержень длиной $l = 1$ м может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через точку O (рис. 7.2). Определить период T малых колебаний этого стержня, если $a = \frac{1}{3}l$.

7.21. Однородный диск радиусом $R = 0{,}1$ м может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, перпендикулярной плоскости диска и проходящей через точку O на нем (рис. 7.3). Определить период T малых колебаний этого диска, если точка O находится на расстоянии $a = \frac{R}{2}$ от центра диска.

7.22. Платформа массой $m = 240$ кг, имеющая форму диска, может свободно вращаться около вертикальной оси, проходящей через центр

платформы. На ее краю стоит человек массой m_1 = 60 кг. На какой угол φ повернется платформа, если человек пойдет вдоль края платформы и, обойдя ее, вернется в исходную точку на платформе? Момент инерции человека можно рассчитывать как для материальной точки.

7.23. Горизонтальная платформа в виде диска радиусом R = 1 м вращается свободно около вертикальной оси, проходящей через ее центр с частотой n_1 = 6 об/мин. На краю платформы стоит человек массой m = 80 кг. С какой частотой n_2 будет вращаться платформа, если человек перейдет в ее центр? Момент инерции платформы J = 120 кг · м^2, а момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки.

Закон сохранения момента импульса

7.24. Однородный тонкий стержень массой m_1 = 0,2 кг и длиной l = 0,2 м может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через точку O. В верхний конец стержня (рис. 7.4) попадает пластилиновый шарик массой m_2 = 10 г, движущийся со скоростью v = 10 м/с, и прилипает к стержню. Определить угловую скорость ω стержня и линейную скорость v_1 нижнего конца стержня сразу после удара, если расстояние от верхнего конца до точки O равно $a = \dfrac{l}{3}$.

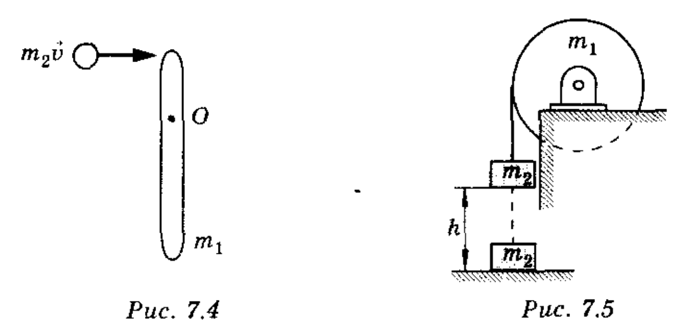


Рис. 7.4 *Рис. 7.5*

7.25. Маховик, имеющий форму диска массой m_1 = 48 кг и радиусом R = 0,4 м, может вращаться вокруг горизонтальной оси. К концу нити, намотанной на маховик, прикреплен груз массой m = 0,2 кг, который удерживается на высоте h = 0,2 м от пола (рис. 7.5). Какую максимальную угловую скорость ω приобретет маховик, если груз отпустить?

7.26. На краю горизонтальной платформы, имеющей форму диска радиусом R = 2 м и массой m = 4 кг, стоит человек, масса которого m_1 = 80 кг. Платформа может свободно вращаться вокруг вертикальной

оси, проходящей через ее центр. С какой угловой скоростью ω будет вращаться платформа, если человек будет идти вдоль ее края со скоростью $v = 2$ м/с относительно платформы?

Работа и энергия

7.27. Диск массой $m = 2$ кг катится без проскальзывания по горизонтальной плоскости со скоростью $v = 4$ м/с. Найти кинетическую энергию $E_к$ диска.

7.28. Обруч и диск имеют одинаковую массу и катятся без проскальзывания с одинаковой скоростью. Кинетическая энергия обруча $E_{к1} = 40$ Дж. Найти кинетическую энергию $E_{к2}$ диска.

7.29. Найти относительную погрешность η, которая получается при вычислении кинетической энергии катящегося без проскальзывания шара, если не учитывать его вращение.

7.30. Шар массой $m = 1$ кг, катящийся без скольжения со скоростью $v_1 = 10$ м/с, ударяется о стенку и откатывается от нее со скоростью $v_2 = 8$ м/с. Найти количество теплоты Q, выделившейся при ударе.

7.31. Диск массой $m = 1$ кг и диаметром $d = 0{,}6$ м вращается вокруг оси, проходящей через его центр и перпендикулярной его плоскости, делая $n = 20$ об/с. Какую минимальную работу A надо совершить, чтобы остановить диск?

7.32. Кинетическая энергия вала, вращающегося с постоянной частотой $n = 6$ об/с, $E_к = 60$ Дж. Найти момент импульса L этого вала.

7.33. Мальчик катит обруч по горизонтальной дороге со скоростью $v = 2$ м/с. На какое расстояние s может вкатиться обруч на горку за счет своей кинетической энергии? Уклон горки $h_0 = 10$ м на каждые $s_0 = 100$ м пути. Проскальзывания нет.

7.34. Медный шар радиусом $R = 0{,}1$ м вращается с частотой $n = 2$ об/с вокруг своей оси, проходящей через его центр. Какую работу A необходимо совершить, чтобы увеличить скорость вращения в $k = 2$ раза?

7.35. Маховик, момент инерции которого $J = 50$ кг$\cdot$м^2, вращается по закону: $\varphi = A + Bt + Ct^2$, где $A = 2$ рад, $B = 16$ рад/с, $C = -2$ рад/с^2. Найти закон изменения вращающего момента M и закон изменения мощности P. Чему равна мощность P_1 в момент времени $t = 3$ с?

7.36. Кинетическая энергия вращающегося маховика $E_к = 1$ кДж. Под действием тормозящего момента маховик начал вращаться равнозамедленно и, сделав $N = 80$ оборотов, остановился. Определить момент M силы торможения.

7.37. Маховик, момент инерции которого $J = 40$ кг · м^2, из состояния покоя начал вращаться равноускоренно под действием момента силы $M = 20$ Н · м в течение $t = 10$ с. Определить кинетическую энергию $E_к$, приобретенную маховиком.

7.38. Маховое колесо начинает вращаться с постоянным угловым ускорением $\varepsilon = 0{,}5$ рад/с^2 и через $t_1 = 15$ с после начала движения приобретает момент импульса $L = 73{,}5$ кг · м^2/ с. Найти кинетическую энергию колеса $E_к$ через $t_2 = 20$ с после начала движения.

7.39. К ободу покоящегося диска массой $m = 5$ кг приложена постоянная касательная сила $F = 20$ Н. Какую кинетическую энергию $E_к$ будет иметь диск через $\Delta t = 5$ с после начала действия силы? Диск может свободно вращаться относительно оси, проходящей через центр диска и перпендикулярной его плоскости.

7.40. Карандаш, длина которого $l = 0{,}15$ м, поставленный вертикально, падает на стол. Какую угловую ω и линейную υ скорости будет иметь в конце падения: а) середина карандаша; б) верхний его конец? Считать, что трение такое, что нижний конец карандаша не проскальзывает.

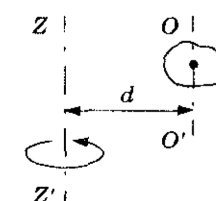
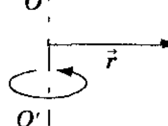
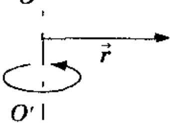
7.41. Однородный стержень длиной $l = 1$ м подвешен на горизонтальной оси, проходящей через его верхний конец. На какой угол φ надо его отклонить, чтобы при прохождении им положения равновесия нижний конец стержня имел скорость $\upsilon = 5$ м/с?

7.42. Однородный стержень длиной $l = 0{,}85$ м может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через один из его концов. Стержень находится в положении устойчивого равновесия. Какую наименьшую скорость υ надо сообщить свободному концу, чтобы стержень сделал полный оборот вокруг своей оси?

Механика

Таблица 7

Формулы	Обозначения		Единицы измерения
Момент инерции **1) материальной точки** $J = mr^2$ **2) твердого тела** $J = \sum_{i=1}^{N} \Delta m_i r_i^2$ **3) некоторых тел правильной формы** **а) кольца** $J = mR^2$; **б) диска** $J = \frac{mR^2}{2}$;		J — момент инерции m — масса материальной точки r — расстояние от оси вращения до точки m — масса R — радиус кольца, диска	1 кг · м^2 1 кг 1 м

в) шара $J = \frac{2}{5} mR^2$;			
г) стержня $J = \frac{ml^2}{12}$		l — длина стержня	
Теорема Штейнера $J_z = J_0 + md^2$		J_z — момент инерции тела относительно оси zz' J_0 — момент инерции тела относительно оси, проходящей через центр масс (OO') d — расстояние между осями	
Момент импульса 1) материальной точки $L = rP\sin\alpha$; 2) твердого тела $L = \sum_{i=1}^{N} L_i = J\omega$	 	L — момент импульса $P = mv$ — импульс материальной точки α — угол между $\vec{r}$ и $\vec{P}$ ω — угловая скорость тела	1 кг · м^2/с 1 кг · м/с 1 рад/с

Окончание таблицы 7

Формулы	Обозначения		Единицы измерения
Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела $M = \frac{dL}{dt} = J\varepsilon$		M — момент силы, действующей на тело ($M = Fh$) ε — угловое ускорение	1 Н · м 1 рад/с^2
Закон сохранения момента импульса $\sum L_i = \text{const}$			
Работа постоянного момента силы $A = M\Delta\varphi$		A — работа $\Delta\varphi$ — угол поворота тела	1 Дж 1 рад
Кинетическая энергия вращающегося тела $W = \sum_{i=1}^{N} \frac{\Delta m_i v_i^2}{2} = \frac{J\omega^2}{2}$		W — кинетическая энергия	1 Дж

8. Гидростатика

Закон Паскаля. Гидравлический пресс

8.1. Какой величине соответствует давление p = 1 мм рт. ст., выраженное в единицах СИ?

8.2. Определить давление, которое создает шило при действии на деревянный брусок силой F = 100 Н. Площадь острия шила S = 0,04 мм^2.

8.3. Какое давление на горизонтальную поверхность оказывает: деревянный куб с длиной ребра l = 1 м; медный куб такого же размера? ($\rho_д = 0{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3.)

8.4. Во сколько раз изменится давление лыжника на снег, если он снимет лыжи? Размер лыжи 200 см × 5 см, площадь ступни в обуви S = 150 см^2.

8.5. На сколько процентов возрастет давление человека массой m_1 = 75 кг на пол, если он возьмет на руки ребенка массой m_2 = 6 кг?

8.6. Чем отличается передача давления в случаях, показанных на рисунке 8.1?

8.7. Если из мелкокалиберной винтовки выстрелить в вареное яйцо, в нем образуется отверстие. Если же выстрелить в сырое яйцо, оно разлетится. Как объяснить это явление?

8.8. Объяснить принцип действия фонтана, изображенного на рисунке 8.2.

8.9. Во время ледохода на реках образуются заторы. Для их устранения лед взрывают. Почему взрывчатое вещество кладут не на поверхность льда, а в воду под лед?

8.10. Почему взрыв снаряда под водой губителен для живущих в воде организмов?

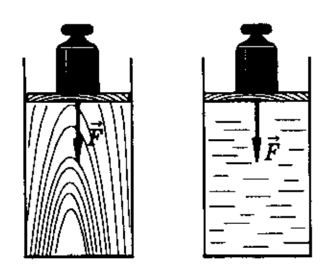
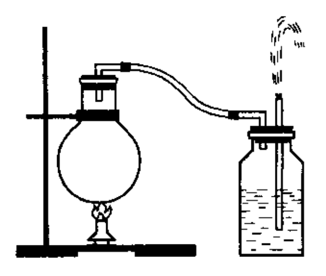



Рис. 8.1


Рис. 8.2

6- 1695

8.11. Почему мыльный пузырь имеет форму шара?

8.12. Почему пустой бумажный пакет, надутый воздухом, с треском разрывается, если ударить его об руку или обо что-либо твердое?

8.13. Почему пищу для космонавтов подготавливают в полужидком виде и помещают в тюбики с эластичными стенками?

8.14. Почему железнодорожные шпалы кладут на сыпучий балласт (песок, гравий, щебень), а не прямо на твердую почву железнодорожного полотна?

8.15. Как добиться, чтобы вода вытекала по трубке из сосуда, изображенного на рисунке 8.3?

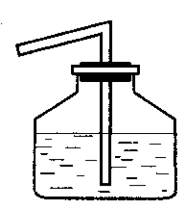


Рис. 8.3

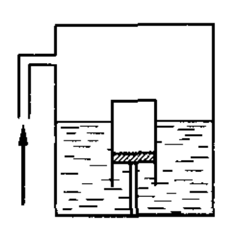


Рис. 8.4

8.16. Поршень неподвижно прикреплен ко дну сосуда (рис. 8.4). Что произойдет с цилиндром, надетым на поршень, если в сосуд накачать воздух? откачать воздух из сосуда? Почему?

8.17. В закрытом сосуде в воде плавает пузырек так, как показано на рисунке 8.5. Пузырек частично заполнен водой. Будет ли увеличиваться масса воды в пузырьке, если в сосуд накачать воздух? Почему?

8.18. В сосуд, имеющий форму косого параллелепипеда (рис. 8.6), налита жидкость. Сравнить давление, производимое ею, на боковые стенки в точках A и B, лежащих на одном уровне.

8.19. Невесомую жидкость сжимают силой F, приложенной к невесомому косому поршню (рис. 8.7). Определить давление жидкости. Площадь дна сосуда S.

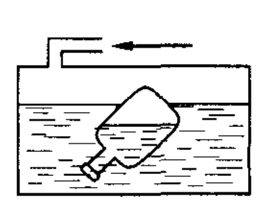


Рис. 8.5

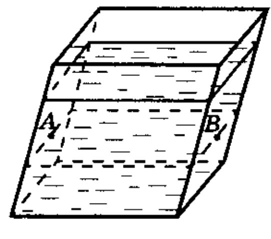


Рис. 8.6

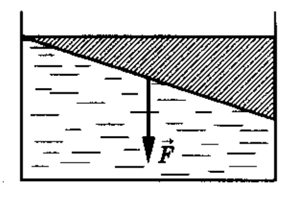


Рис. 8.7

8.20. Из небольшого отверстия в боковой стенке сосуда вытекает струйка воды. *Что произойдет с вытекающей из сосуда струей воды, если* сосуд начнет свободно падать? Сопротивлением окружающего воздуха пренебречь.

8.21. Изменится ли производимое при помощи гидравлического пресса давление, если воду заменить более тяжелой жидкостью — глицерином?

8.22. Будет ли разница в действии гидравлического пресса на Земле и на Луне?

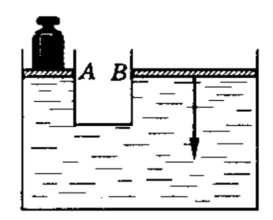


Рис. 8.8

8.23. Два сообщающихся сосуда с различными поперечными сечениями (рис. 8.8) наполнены водой. Площадь сечения узкого сосуда в $n = 100$ раз меньше, чем широкого. На поршень A поставили гирю весом $P = 10$ Н. Груз какого веса надо положить на поршень B, чтобы оба груза находились в равновесии? (Весом поршней пренебречь.)

8.24. Площадь меньшего поршня гидравлического пресса $S_1 = 10$ см^2; на него действует сила $F_1 = 200$ Н. Площадь большего поршня $S_2 = 200$ см^2. Какая сила действует на больший поршень?

8.25. Какой выигрыш в силе можно получить на гидравлических машинах, у которых площади поршней относятся как: а) 1 : 10; б) 2 : 50; в) 1: 100; г) 5 : 60; д) 10 : 100?

8.26. Поршень гидравлического пресса площадью $S_1 = 180$ см^2 действует с силой $F_1 = 18$ кН. Площадь малого поршня $S_2 = 4$ см^2. С какой силой действует меньший поршень на масло в прессе?

8.27. Малый поршень гидравлического пресса под действием силы $F_1 = 500$ Н опустился на расстояние $h_1 = 15$ см. При этом большой поршень поднялся на высоту $h_2 = 5$ см. Какая сила действует на большой поршень?

8.28. Какая сила давления может быть получена на гидравлическом прессе, если к длинному плечу рычага, передающему давление на малый поршень, приложена сила $F_1 = 10$ Н? Соотношение плеч рычага $n = 9$, а площади поршней пресса $S_1 = 5$ см^2 и $S_2 = 500$ см^2, КПД пресса $\eta = 90\%$.

8.29. При помощи гидравлического пресса с отношением площадей $S_1 : S_2 = 1 : 100$ нужно поднять груз массой $m = 100$ т. Определить число ходов малого поршня за время $t = 1$ мин, если за один ход он опускается на расстояние $h = 20$ см. Мощность двигателя пресса $N = 5$ кВт, КПД пресса $\eta = 80\%$.

Давление жидкости

8.30. Почему пловец, нырнувший на большую глубину, испытывает боль в ушах?

8.31. Сосуд с водой имеет форму, изображенную на рисунке 8.9. Одинаково ли давление на боковые стенки сосуда на уровне *ab*?

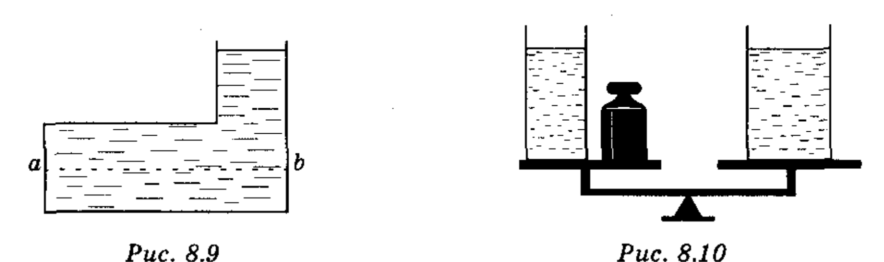


Рис. 8.9 *Рис. 8.10*

8.32. Цилиндрические сосуды уравновешены на весах (рис. 8.10). В сосуд наливают одинаковую массу воды. Нарушится ли равновесие весов? Одинаково ли будет давление воды на дно сосудов?

8.33. В трех сосудах с одинаковой площадью дна налита вода до одного уровня (рис. 8.11). В каком сосуде налито больше воды? Одинаково ли давление на дно сосудов? Почему?

8.34. Уровень жидкостей в сосудах (рис. 8.12) одинаковый. В левом налита вода, в правом — керосин. Одинаковы ли давления на дно сосудов? Одинаковы ли давления на кран? Будет ли переливаться жидкость из одного сосуда в другой, если открыть кран?

8.35. Одинаково ли давление воды на дно сосудов (рис. 8.13)? Изменится ли давление, если воду заменить керосином?

8.36. В сосуд с водой опущен кусок дерева. Изменится ли от этого давление на дно сосуда, если вода из сосуда не выливается?

8.37. Стакан до самого верха наполнен водой. В него помещают кусок дерева так, что он свободно плавает. Изменится ли сила давления стакана на стол, если вода по-прежнему наполняет его до самого верха?

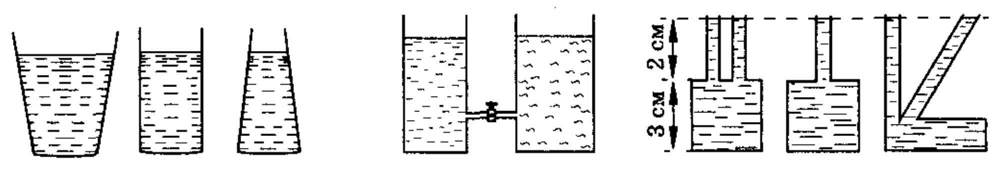


Рис. 8.11 *Рис. 8.12* *Рис. 8.13*

8.38. Вода в стакане налита до высоты $h = 8$ см. Какое давление на дно стакана оказывает вода? Какое давление будет оказывать ртуть, налитая до того же уровня? Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па.

8.39. Водолаз в жестком скафандре может погружаться на глубину $h_1 = 250$ м, искусный ныряльщик — на $h_2 = 20$ м. Определить давление воды в море на этих глубинах. Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па.

8.40. Рассчитать давление воды: а) на самой большой глубине Тихого океана — 11 035 м; б) на наибольшей глубине Азовского моря — 14 м (плотность воды в нем принять равной 1020 кг/м^3). Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па.

8.41. На какой глубине в пресной воде давление в $n = 3$ раза больше атмосферного давления $p_0 = 760$ мм рт. ст.?

8.42. Определить высоту уровня воды в водонапорной башне, если манометр, установленный у ее основания, показывает давление $p = 220\,000$ Па. Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па.

8.43. В цилиндрический сосуд налиты ртуть, вода и керосин. Определить общее давление, которое оказывают жидкости на дно сосуда, если объемы всех жидкостей равны, а верхний уровень керосина находится на высоте $h = 12$ см от дна сосуда. Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па.

8.44. В цилиндрический сосуд налиты ртуть и вода в равных количествах. Общая высота жидкостей $h = 10$ см. Определить давление жидкости на дно сосуда. Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па.

8.45. К нижней части воронки, помещенной в сосуд с водой, прижата давлением тонкая пластинка, как показано на рисунке 8.14. Если в воронку налить воду массой $m_1 = 0{,}5$ кг, пластинка отпадет. Отпадет ли пластинка, если в воронку насыпать дробь массой $m_2 = 0{,}5$ кг? Ответ обосновать.

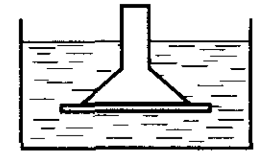
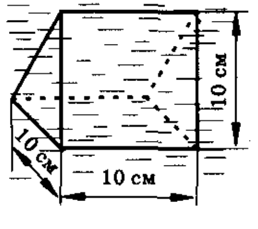


Рис. 8.14

8.46. Шайба, площадь основания которой S, масса m, плавает в жидкости. Определить давление жидкости на нижнюю поверхность шайбы, если атмосферное давление p_0.

8.47. Плоскодонная баржа получила в дне пробоину площадью $S = 200$ см^2. С какой силой нужно давить на пластырь, которым закрывают отверстие, чтобы сдержать напор воды на глубине $h = 1{,}8$ м? (Вес пластыря не учитывать.)



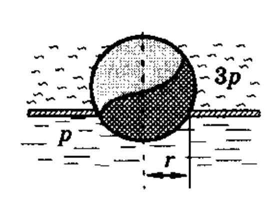


Рис. 8.15 *Рис. 8.16* *Рис. 8.17*

8.48. Ширина шлюза $a = 20$ м, глубина воды в нем $h = 10$ м. Какова сила реакции, возникающая в местах крепления ворот шлюза?

8.49. Желоб, до краев наполненный водой (рис. 8.15), имеет высоту $b = 12$ см, ширину нижнего основания $h = 8$ см и верхнего $H = 24$ см. Определить силу давления воды на $l = 1$ м длины боковой стенки. Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па.

8.50. В жидкости находится прямоугольная призма, размеры которой показаны на рисунке 8.16. Найти сумму сил, действующих на переднюю и нижнюю грани призмы, если давление жидкости равно $2 \cdot 10^5$ Па. Чему равна сумма сил, действующих на призму?

8.51. Шар перекрывает отверстие радиусом r в плоской стенке (рис. 8.17), разделяющей жидкости, давление которых $3p$ и p. С какой силой жидкость прижимает шар к отверстию?

8.52. Коническая пробка перекрывает сразу два отверстия в плоском сосуде, заполненном жидкостью при давлении p (рис. 8.18). Радиусы отверстий r и R. Определить силу, действующую на пробку со стороны жидкости.

8.53. Круглое отверстие площадью S_0 в дне сосуда закрыто конической пробкой с площадью основания S (рис. 8.19). При каком максимальном значении плотности пробки ρ можно, доливая в сосуд воду, добиться всплывания пробки? Плотность воды ρ_0.

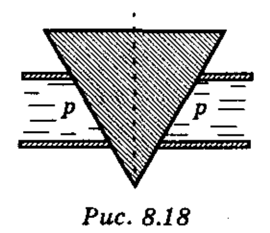


Рис. 8.18

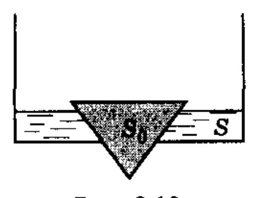


Рис. 8.19

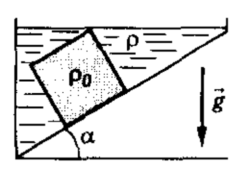


Рис. 8.20

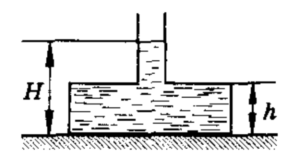


Рис. 8.21

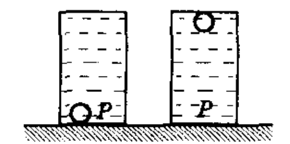


Рис. 8.22

8.54. Стальной кубик плотностью ρ = 7,8 г/см^3 и длиной ребра a = 1 см прилип к наклонной плоскости, образующей угол α = 45° с горизонтом (рис. 8.20). Плоскость залита водой так, что кубик касается поверхности воды. Найти силу нормального давления кубика на плоскость.

8.55. В дне цилиндрического сосуда просверлили отверстие площадью S_2 и вставили в него пластмассовую трубку (рис. 8.21). Масса сосуда с трубкой m, площадь дна S_1. Сосуд стоит на ровном листе резины дном вверх. Сверху в трубку осторожно наливают воду. До какого уровня H можно налить воду, чтобы она не вытекала вниз? Высота сосуда h.

8.56. Герметичный сосуд полностью заполнен водой. При этом на дне остался один воздушный пузырек. Во сколько раз изменится давление на дно сосуда, если его осторожно перевернуть на 180° так, что пузырек окажется под верхней стенкой сосуда (рис. 8.22)?

Сообщающиеся сосуды

8.57. Справедлив ли закон сообщающихся сосудов в условиях невесомости?

8.58. Высота воды в левом колене сообщающихся сосудов h_1 = 40 см, в правом — h_2 = 10 см. В каком направлении будет переливаться вода, если открыть кран? На сколько изменится уровень воды в левом сосуде? Найти объем воды, который перелился из одного сосуда в другой. Левое колено сосуда имеет площадь поперечного сечения S_1 = 10 см^2, правое — S_2 = 20 см^2.

8.59. В сосуд с водой вставлена трубка сечением S = = 2 см^2. В трубку налили масло массой m = 72 г. Найти разность уровней масла и воды.

8.60. В сообщающихся сосудах находятся ртуть и вода (рис. 8.23). Высота столба воды h_1 = 68 см. Какой высоты столб керосина следует налить в левое колено, чтобы ртуть установилась в обоих сосудах на одинаковом уровне?

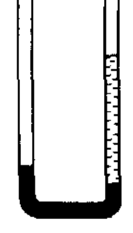


Рис. 8.23

8.61. В сообщающихся сосудах находится ртуть. Когда в правую трубку наливают керосин, высота столба которого $h_к = 34$ см, уровень ртути в левой трубке поднимается на $\Delta h = 2$ см. По этим данным найти плотность керосина. Какой высоты слой воды следует налить в левую трубку, чтобы ртуть в трубках установилась на одинаковом уровне (рис. 8.24)?

8.62. В сообщающихся сосудах налиты ртуть, вода и керосин (см. рис. 8.24). Какова высота слоя керосина, если высота столба воды 20 см и в правом колене уровень ртути ниже, чем в левом, на 0,5 см?

8.63. U-образная трубка заполнена ртутью, водой и керосином, как показано на рисунке 8.25. Верхние уровни воды и керосина лежат на одной горизонтали. Зная, что разность уровней ртути $h = 25$ мм, найти высоту H столба воды.

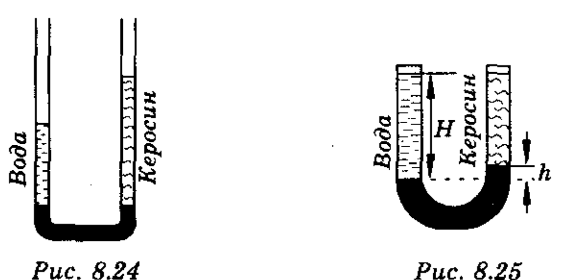


Рис. 8.24 *Рис. 8.25*

8.64. В U-образную вертикальную трубку, закрытую о обоих концов поршнями массами m_1 и m_2, налита вода. На поршне массой m_1 лежит груз, при этом уровень воды в обоих коленах трубки одинаков. Как изменится уровень воды в коленах, если груз переложить на другой поршень? Площадь каждого из поршней S, плотность воды ρ.

8.65. В сообщающиеся сосуды площадью сечения S_1 и S_2 налита вода. Сосуд площадью S_2 подключают к насосу и уменьшают давление над столбом жидкости в этом сосуде на Δp. На сколько при этом изменяются высоты столбов жидкости в каждом из сосудов?

8.66. Ртуть находится в сообщающихся сосудах. Площадь сечения левого колена в 3 раза меньше, чем правого. Уровень ртути в узком колене расположен на расстоянии $l = 30$ см от верхнего конца трубки. На сколько поднимется уровень ртути в правом колене, если левый медленно доверху залить водой?

8.67. Две трубки, диаметрами по $d = 4$ см каждая, представляют собой сообщающиеся сосуды. В одно колено сосуда заливают воду объемом $V_1 = 0{,}25$ л, в другое — $V_2 = 0{,}25$ л ртути. Каковы будут высоты жидкостей в обоих коленах? Объемом изогнутой части трубки пренебречь.

8.68. В один из сообщающихся сосудов налита вода плотностью ρ_1, в другой — масло плотностью ρ_2. На какое расстояние Δl сместится граница раздела жидкостей в горизонтальной трубке, если на поверхность воды налить слой масла толщиной h? Площадь поперечного сечения сосудов в k раз больше площади поперечного сечения соединительной трубки.

8.69. В стакане с водой плавает деревянная шайба с цилиндрическим отверстием. Оси шайбы и отверстия параллельны. Площадь дна стакана S, площадь сечения отверстия S_1. Отверстие осторожно заполняют доверху маслом. На какую высоту Δh поднимется шайба, если вначале ее выступающая из воды часть имела высоту h? Плотность масла ρ, плотность воды ρ_0. Известно, что все масло осталось в отверстии.

Атмосферное давление

8.70. Почему не выливается вода из опрокинутой вверх дном бутылки, если горлышко ее погружено в воду (рис. 8.28)?

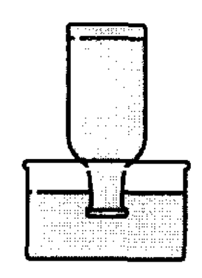


Рис. 8.28

8.71. Сосуд «наказанное любопытство» устроен так: в дне сосуда проделаны узкие отверстия. Если сосуд наполнить водой и закрыть пробкой, вода из сосуда через отверстия не выливается. Если открыть пробку, то вода потечет из всех отверстий. Объяснить почему.

8.72. Удастся ли опыт Торричелли, если барометрическую трубку со ртутью поставить открытым концом не в чашку со ртутью, а в чашку с водой?

8.73. Почему в жидкостных барометрах используют ртуть, а не воду?

8.74. Под колоколом воздушного насоса (рис. 8.29) находятся закрытый и открытый сосуды, соединенные стеклянной трубкой. В закрытом сосуде налито немного воды. Что произойдет, если сначала выкачать воздух из-под колокола, а потом вновь его впустить?

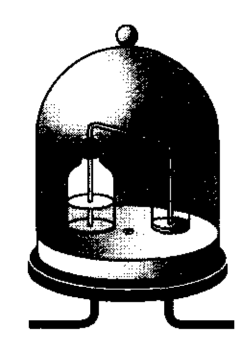


Рис. 8.29

8.75. Ученик утверждает, что показания барометра за окном комнаты должны быть больше, чем в комнате, поскольку на улице на него действует значительно больший столб атмосферного воздуха. Доказать, что такое утверждение ошибочно.

8.76. Изменится ли объем двух одинаковых мыльных пузырей (рис. 8.30), если, например, левую трубку опустить? Почему?

8.77. На рисунке 8.31 представлен один и тот же стратостат на различных высотах подъема над землей. Какому из положений стратостата соответствует бóльшая высота подъема? На основании чего вы делаете свои выводы?

8.78. В кабине космического корабля все тела находятся в состоянии невесомости. Оказывает ли воздух давление на стенки космического корабля во время полета?

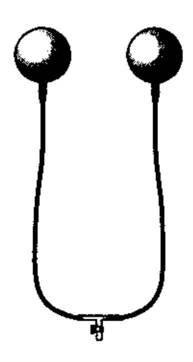


Рис. 8.30

8.79. Рассчитать силу, с которой воздух давит на поверхность стола, длина которого $a = 1{,}2$ м, ширина $b = 60$ см. Атмосферное давление принять равным $p_0 = 10^5$ Па.

8.80. Определить, с какой силой воздух давит на крышу дома размером 20 × 50 м при нормальном атмосферном давлении. Почему крыша не проваливается?

8.81. Давление воздуха в магдебургских полушариях 10 мм рт. ст. Радиус полушария 25 см. Какую силу нужно приложить, чтобы оторвать полушария друг от друга при нормальном атмосферном давлении?

8.82. На трубке манометра (рис. 8.32) равномерно нанесены деления. Во сколько раз нужно изменить цену деления a (Па/деление), если ртуть заменить на масло? Давлением насыщенных паров пренебречь.

8.83. Определить давление газа в баллоне (рис. 8.33) при нормальном атмосферном давлении. В манометре находится ртуть.

8.84. При входе на станцию метро барометр показывает давление $p_1 = 760$ мм рт. ст. Определить, на какой глубине находится платформа, если барометр на ней показывает давление $p_2 = 765$ мм рт. ст.

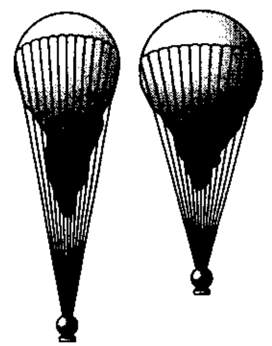


Рис. 8.31

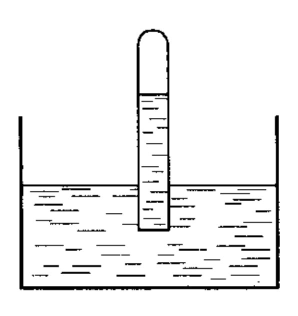


Рис. 8.32

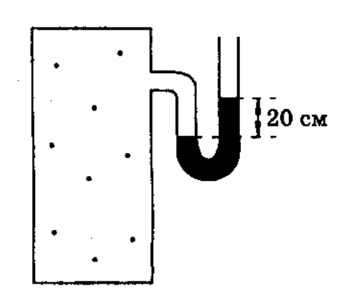


Рис. 8.33

8.85. Каково показание барометра на уровне высоты Московской телевизионной башни $h = 540$ м, если внизу башни барометр показывает давление $p_0 = 755$ мм рт. ст.?

8.86. На какую высоту поднялся бы керосин за поршнем насоса при атмосферном давлении $p_0 = 750$ мм рт. ст.?

8.87. Барометрическая трубка сечением $S = 1$ см^2 опущена в чашку с ртутью. На сколько изменится уровень ртути в чашке, если, не вынимая конца трубки из ртути, наклонить ее под углом $\alpha = 30°$ к вертикали? Диаметр чашки $D = 6$ см. Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па.

8.88. Разность показаний барометра при вертикальном и наклонном положениях трубки (рис. 8.34) составляет $\Delta p = 0{,}4 \cdot 10^4$ Па. Найти атмосферное давление, если угол наклона трубки к горизонту $\alpha = 45°$.

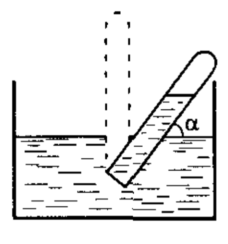


Рис. 8.34

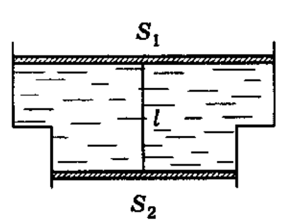


Рис. 8.35

8.89. В вертикально расположенном сосуде переменного сечения (рис. 8.35) находится вода, отделенная от атмосферы двумя невесомыми поршнями сечением S_1 и S_2. Поршни соединены тонкой проволокой длиной l. Найти силу натяжения проволоки. Трения нет.

Закон Архимеда. Плавание тел

8.90. Какое заключение можно сделать о величине архимедовой силы, проводя соответствующие опыты на Луне, где сила тяжести в 6 раз меньше, чем на Земле?

8.91. Справедлив ли в условиях невесомости закон Паскаля? Возникает ли архимедова сила в условиях невесомости?

8.92. Подводная лодка, опустившись на мягкий грунт (илистое дно), иногда с трудом отрывается от него. Как объяснить это присасывание лодки к грунту?

8.93. Железобетонная плита размером $3{,}5 \times 1{,}5 \times 0{,}2$ м полностью погружена в воду. Вычислить архимедову силу, действующую на плиту.

8.94. Определить выталкивающую силу, действующую на камень объемом $V = 10$ см^3 при его полном погружении в воду; в керосин.

9.95. Объем куска железа $V = 100$ см^3. Какую силу необходимо приложить, чтобы удержать его в воздухе? в воде?

8.96. Из какого материала надо сделать гири, чтобы при точном взвешивании можно было не вводить поправки на потерю веса в воздухе?

8.97. Определить показания пружинных весов при взвешивании в воде тел объемом $V = 100$ см^3 из алюминия, железа, меди, свинца.

8.98. Кусок железа имеет в воде вес $P = 4$ Н. Найти его объем.

8.99. На пружине жесткостью $k = 100$ Н/м висит грузик массой $m = 100$ г. После того как пружину с грузиком опустили в воду, длина пружины изменилась на $\Delta l = 4$ см. Определить плотность материала, из которого сделан грузик.

8.100. Цилиндрическую гирю, подвешенную к динамометру, опускают в воду (рис. 8.36), пока уровень воды в сосуде не изменится на $\Delta h = 10$ см. Показания динамометра при этом изменяются на $\Delta F = 1$ Н. Определить площадь поперечного сечения сосуда.

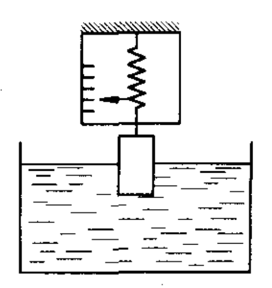


Рис. 8.36

8.101. Кусок пробки массой $m_п = 1{,}2$ г привязан к куску железа массой $m_ж = 11{,}7$ г. При погружении этих связанных тел в воду вес их $P = 6{,}4 \cdot 10^{-2}$ Н. Определить плотность пробки $\rho_п$.

8.102. Кусок металла, представляющий собой сплав меди и серебра, в воздухе имеет вес $P_1 = 2{,}5$ Н, а в воде — $P_2 = 2{,}25$ Н. Определить массу серебра и массу меди в этом куске сплава. (Задача Архимеда.)

8.103. Кусок металла представляет собой сплав золота и серебра и в воздухе имеет вес P_1. Вес сплава в воде P_2. Какую долю от веса сплава составляет вес золота?

8.104. Определить плотность жидкости, при погружении в которую на половину своего объема тело плотностью ρ имеет вес P_1. Вес тела в атмосфере P_0.

8.105. Шарик объемом V выполнен из материала плотностью ρ. Качество выполнения низкое, так что 2% объема занимают разного рода дефекты. Определить среднюю плотность вещества, заполняющего дефектный объем, если в среде плотностью ρ вес шарика P_1.

8.106. Два сплошных цилиндра одинакового веса и диаметра, алюминиевый и свинцовый, в вертикальном положении плавают в ртути. Сравнить глубину погружения цилиндров.

8.107. Какая часть тела окажется погруженной в жидкость, если плотность тела в n раз меньше плотности жидкости?

8.108. Плавая в жидкости A, куб погружается на глубину $h_1 = 40$ мм, а в жидкости B — на глубину $h_2 = 60$ мм. Какова будет его глубина погружения в жидкости C, плотность которой равна среднему арифметическому плотностей первых двух жидкостей?

8.109. Прямоугольная баржа длиной $a = 5$ м и шириной $b = 3$ м после загрузки осела на $h = 50$ см. Определить массу груза, принятого баржей.

8.110. Какой грузоподъемностью будет обладать баржа массой $m = 20$ т с габаритами ($h \times H \times l$) $2 \times 6 \times 10$ м? Ватерлиния находится на высоте $h_0 = 1$ м от уровня воды.

8.111. Какой должна быть площадь плоской льдины толщиной $h = 40$ см, чтобы удержать на воде груз массой $m = 100$ кг? Глубина погружения льдины должна быть $h_1 = 38$ см.

8.112. Масса пробкового спасательного плота $m = 3{,}5$ кг. Определить объем бруска из стали, который может находиться на этом плоту в соленой воде.

8.113. Тело, имеющее форму куба с ребром $a = 1$ м, плавает в воде так, что глубина погружения нижней грани $h = 25$ см. После того как на тело положили камень объемом $V_к = 10$ дм^3, глубина погружения нижней грани увеличилась на $\Delta h = 2$ см. Определить плотность тела и плотность камня.

8.114. Полый свинцовый шар плавает в ртути так, что $\frac{1}{3}$ его объема находится в жидкости. Чему равен объем воздушной полости внутри шара, если радиус шара $R = 3$ см?

8.115. Полый стальной куб со стороной $a = 1$ м плавает в воде так, что его нижняя грань расположена горизонтально. Толщина стенок куба $l = 4$ мм. Вычислить давление воды на нижнюю грань куба. Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па.

8.116. Сплошной однородный цилиндр объемом V и плотностью ρ плавает на границе раздела двух несмешивающихся жидкостей. Плотность верхней жидкости $\rho_1 < \rho < \rho_2$, где ρ_2 — плотность нижней жидкости. Определить плотность верхней жидкости ρ_1, если известно, что

в верхнем слое жидкости находится $\eta = \dfrac{47}{127}$ часть объема цилиндра. Плотности тела и нижнего слоя жидкости соответственно $\rho = 8900$ кг/м^3 и $\rho_2 = 13\,600$ кг/м^3.

8.117. В сосуде с ртутью плавает шарик, наполовину погруженный в ртуть (рис. 8.37). В сосуд долили воду так, что она полностью покрыла плавающий шарик. Какая часть объема шарика окажется при этом погруженной в ртуть?



Рис. 8.37

8.118. В сосуде с водой плавает кубик так, что над поверхностью воды выступает $\dfrac{1}{3}$ часть его объема. Когда в сосуд добавили масло, над поверхностью оказалась $\dfrac{1}{4}$ часть кубика, а половина его объема была погружена в воду. Будет ли плавать этот кубик, если его опустить в сосуд, в который налито только масло? Если будет, то как?

8.119. По озеру плывет деревянная баржа с песком. Как изменится уровень воды в озере, если баржа опрокинется и весь песок высыплется на дно?

8.120. В сосуде с водой плавает кусок льда. Как изменится уровень воды, если лед растает? Рассмотреть также случаи, когда в лед вморожен: а) камешек; б) пузырек воздуха.

8.121. Кусок льда, внутри которого находится свинцовая пластинка, плавает в цилиндрическом сосуде с водой. Диаметр сосуда $D = 40$ см. После полного таяния льда уровень воды в сосуде понизился на $h = 3$ см. Определить массу свинцовой пластинки.

8.122. В сообщающиеся сосуды радиусами R_1 и R_2 налита вода. На сколько изменится уровень воды в сосудах, если в один из них положить кусок дерева массой m?

8.123. В двух цилиндрических сообщающихся сосудах, имеющих одинаковое поперечное сечение $S = 11{,}5$ см^2, находится ртуть. В один из сосудов поверх ртути наливают воду объемом $V = 1$ л и опускают тело массой $m = 150$ г, которое плавает в воде. На какое расстояние переместится уровень ртути во втором сосуде после этого?

8.124. Ведро, имеющее массу m и объем V, вытаскивают с водой из колодца. Плотность материала, из которого сделано ведро, ρ. Плотность воды ρ_0. Какую минимальную силу нужно приложить, чтобы равномерно поднимать это ведро, пока оно находится под водой и когда его вытащили из воды? Сопротивление воды не учитывать.

8.125. Шар, до половины погруженный в воду, лежит на дне сосуда и давит на него с силой, равной $\frac{1}{3}$ действующей на него силы тяжести. Найти плотность шара.

8.126. Определить натяжение нити, связывающей два плавающих в воде шарика объемом $V = 10$ см^3 каждый, если верхний плавает, наполовину погрузившись в воду. Нижний шарик в $n = 3$ раза тяжелее верхнего.

8.127. Определить силу давления одинаковых бревен, массой m каждое, на стенки канала (рис. 8.38). Верхнее бревно погружено в воду наполовину, а нижнее верхним участком касается поверхности воды.

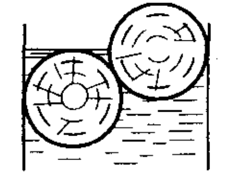


Рис. 8.38

8.128. Считая, что при движении шарика в жидкости с небольшими скоростями сила трения пропорциональна скорости v и радиусу шарика r в степени $1 \leqslant n < 3$, доказать, что с увеличением радиуса шарика возрастает скорость его падения в жидкости. Плотность шарика и жидкости известны. Считать движение шарика в жидкости равномерным.

8.129. Два одинаковых шарика связаны невесомой нерастяжимой нитью, перекинутой через невесомый блок, причем один из шариков погружен в сосуд с жидкостью (рис. 8.39). С какой установившейся скоростью v будут двигаться шарики, если известно, что установившаяся скорость падения одиночного шарика в той же жидкости равна v_0? Сила сопротивления жидкости пропорциональна скорости. Плотность жидкости $\rho_ж$, плотность материала шариков $\rho > \rho_ж$.

8.130. Три сообщающихся сосуда с водой прикрыты поршнями. К поршням шарнирно прикреплена на вертикальных стержнях горизонтальная палка. В каком месте нужно приложить к палке силу F, чтобы она осталась горизонтальной? Диаметры сосудов и расстояние между ними указаны на рисунке 8.40.

8.131. Тонкая однородная палочка шарнирно укреплена за верхний конец (рис. 8.41). Нижняя часть палочки погружена в воду. Равновесие

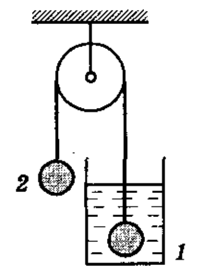


Рис. 8.39

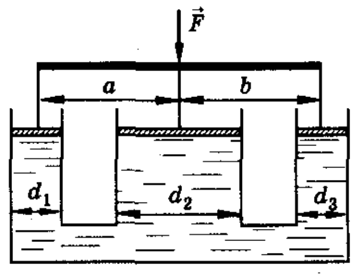


Рис. 8.40

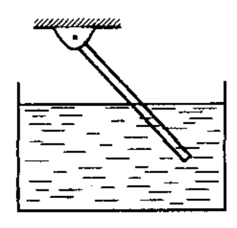


Рис. 8.41

достигается, когда палочка расположена наклонно и погружена в воду на половину своей длины. Какова плотность материала, из которого сделана палочка?

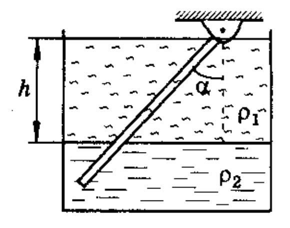


Рис. 8.42

8.132. Стержень длиной l, выполненный из материала плотностью ρ, закреплен с помощью шарнира и полностью погружен в жидкости плотностями ρ_1 и ρ_2 (рис. 8.42). Высота слоя жидкости с плотностью ρ_1 равна h. Определить угол, который при этом образует стержень с вертикалью.

8.133. Вывести формулу поправки, которую надо вносить при взвешивании с помощью рычажных весов в воздухе. Плотности взвешиваемого тела ρ, гирь ρ_1, воздуха ρ_0. Истинная масса m; масса, полученная при взвешивании, m_1.

8.134. Два тела одинакового объема, выполненные из материалов с плотностями ρ_1 и ρ_2, уравновешены на концах тонкого невесомого стержня длиной l. Затем тела погружают в жидкость с плотностью ρ_0. На сколько необходимо переместить точку опоры стержня, чтобы равновесие после погружения сохранилось?

8.135. Два тела одинаковой массы m, но с разными плотностями ρ_1 и ρ_2, уравновешены на концах невесомого стержня длиной l. Тела погружают в жидкость плотностью ρ_0. На сколько необходимо переместить опору, чтобы после погружения в жидкость равновесие сохранилось?

8.136. Два шарика радиусами r_1 и r_2, сделанные из материала плотностями ρ_1 и ρ_2 соответственно, соединены тонким стержнем, длина которого l. Вся система погружена в жидкость плотностью ρ. Определить точку приложения равнодействующей всех сил, действующих на систему, если $\rho < \rho_1$ и $\rho < \rho_2$.

8.137. Тело объемом $V = 10^{-3}$ м^3 находится под водой на глубине $h = 5$ м. Плотность тела $\rho = 3 \cdot 10^3$ кг/м^3. Определить работу, совершенную при медленном подъеме тела из воды.

8.138. Стальной шарик радиусом $r = 2$ см лежит на дне реки глубиной $h = 3$ м. Какую минимальную работу нужно совершить, чтобы поднять шарик на высоту $H = 2$ м над поверхностью воды?

8.139. Стальной шарик падает в ртуть с высоты H. На какую глубину он погрузится, если пренебречь силами сопротивления и потерями энергии при ударе о поверхность ртути? Плотность стали ρ_0, плотность ртути ρ.

8.140. В сосуде с жидкостью, плотность которой ρ_0, находится тело плотностью ρ. Как изменяется потенциальная энергия системы «жидкость—тело» при изменении глубины погружения тела?

8.141. Стеклянный шарик объемом $V = 0{,}2$ см^3 равномерно падает в воде. Какое количество теплоты выделится при перемещении шарика на расстояние $h = 6$ м?

8.142. Пробковый шарик удерживают на глубине $H = 1$ м под поверхностью воды. Когда шарик отпустили, он вынырнул из жидкости и поднялся на высоту $h = 0{,}5$ м над поверхностью. Определить среднюю силу сопротивления воды движению шарика. Сопротивление воздуха не учитывать. Масса шарика $m = 100$ г.

8.143. Небольшой по размеру шарик плотностью ρ падает в жидкость плотностью ρ_0 с высоты h и погружается на глубину l. Объем шарика равен V. Считая силу сопротивления в жидкости пропорциональной площади максимального поперечного сечения шарика, оценить среднее значение коэффициента пропорциональности α.

8.144. Цилиндрический тонкостенный стакан массой m вертикально плавает в жидкости. Стакан наполовину погружен в жидкость. Какую минимальную работу нужно совершить, чтобы утопить его? Высота стакана равна h.

8.145. Стальной кубик объемом $V = 8$ см^3 плавает в ртути. Какую работу надо совершить, чтобы погрузить кубик в ртуть? Силу вязкого трения не учитывать.

8.146. Кубик из материала плотностью ρ плавает в жидкости плотностью ρ_0 (рис. 8.43). Сторона кубика равна a. Определить работу, которую необходимо совершить, чтобы: а) полностью утопить кубик; б) полностью вытащить его из жидкости.

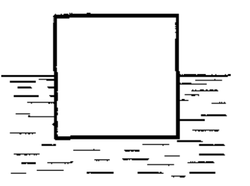


Рис. 8.43

8.147. Пробковый цилиндр массой $m = 200$ г, высотой $h = 20$ см опустили на дно водоема глубиной $H = 1$ м и отпустили. Какую работу совершила при всплытии цилиндра выталкивающая сила, если цилиндр все время оставался в вертикальном положении. Колебания цилиндра у поверхности воды после всплытия не учитывать. Силу сопротивления не учитывать.

8.148. На пружине жесткостью $k = 100$ Н/м подвешен медный цилиндр высотой $h = 25$ см и площадью основания $S = 100$ см^2. Дно цилиндра касается поверхности воды. Какую работу надо совершить, чтобы полностью погрузить этот цилиндр в воду? Силой трения пренебречь.

8.149. В сосуде, в котором налиты две жидкости — вода и керосин, плавает пластмассовый кубик. При этом две грани кубика горизонтальны. Кубик полностью погружен в жидкость. Плотность пластика $\rho_п = 0{,}9$ г/см^3. Для того чтобы погрузить этот кубик полностью в воду так, чтобы верхняя грань оказалась на границе раздела двух жидкостей, необходимо совершить работу $A = 25$ мДж. Чему равна длина ребра кубика? Силу трения кубика о жидкость не учитывать.

8.150. В сосуде имеются две несмешивающиеся жидкости с плотностями ρ_1 и ρ_2, толщины слоев этих жидкостей d_1 и d_2 соответственно. С поверхности жидкости в сосуд пускают маленькое обтекаемое тело, которое достигает дна в тот момент, когда его скорость становится равной нулю. Какова плотность материала, из которого сделано тело? Трение не учитывать.

8.151. В сосуде, наполненном водой плотностью ρ, всплывает пузырек воздуха объемом V с ускорением a (рис. 8.44). Найти силу давления сосуда на опору. Масса сосуда с водой M.

8.152. Как изменится глубина погружения тела, плавающего в сосуде с водой, если сосуд начнет ускоренно двигаться вверх? Ответ обосновать.

8.153. С некоторой высоты падает сосуд с водой, в котором в начальный момент падения на некоторой глубине находится кусок пробки. Каково будет движение пробки относительно стенок сосуда? Сопротивление воздуха не учитывать.

8.154. Цилиндрическое ведро с водой поднимают равноускоренно и за время t скорость его изменяют от v_0 до v. Зная, что масса воды m, а площадь основания ведра S, найти давление воды на дно. Атмосферное давление p_0.

8.155. С каким ускорением движется автомобиль, если поверхность бензина в баке автомобиля составляет с горизонтом угол $\alpha = 15°$?

8.156. В боковой стенке сосуда имеется отверстие, нижний край которого находится на высоте h (рис. 8.45). При каком горизонтальном ускорении a сосуда находящаяся в нем жидкость не будет выливаться из отверстия, если в покоящемся сосуде (при закрытом отверстии) жидкость была налита до высоты H?

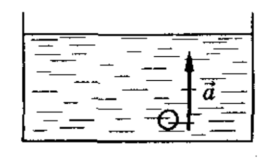


Рис. 8.44

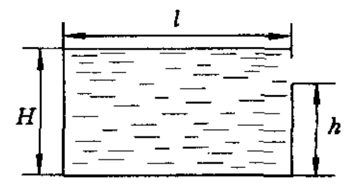


Рис. 8.45

8.157. Сосуд с отверстием в дне укреплен на тележке (рис. 8.46). Масса сосуда с тележкой m, площадь основания сосуда S. С какой силой надо тянуть тележку, чтобы в сосуде осталось максимальное количество воды?

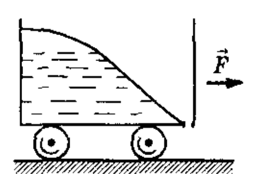


Рис. 8.46

8.158. Сосуд с водой движется с постоянным ускорением a (рис. 8.47). Найти давление воды в точке A. Плотность воды ρ, расстояние $AB = l$. Атмосферное давление p_0.

8.159. Сосуд с водой скользит по наклонной плоскости с углом наклона α. Коэффициент трения μ. Какой угол β с горизонтом образует поверхность воды?

8.160. Сосуд с водой скользит по наклонной плоскости с углом наклона α так, что уровень воды устанавливается параллельно этой плоскости (рис. 8.48). Из отверстия около дна сосуда вытекает вода со скоростью v. Определить коэффициент трения μ между сосудом и плоскостью, если масса сосуда m, а площадь отверстия S. Изменением массы воды, связанным с ее истечением из сосуда, пренебречь.

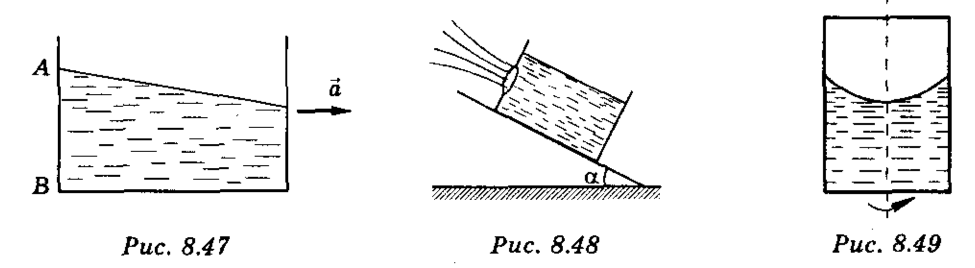


Рис. 8.47 *Рис. 8.48* *Рис. 8.49*

8.161. Найти форму поверхности жидкости в цилиндрическом сосуде, вращающемся с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси (т. е. высоту уровня жидкости в зависимости от расстояния r до оси вращения).

8.162. Цилиндрический сосуд с жидкостью вращается вокруг оси симметрии с частотой $n = 2$ об/с. Чему равен угол α наклона поверхности жидкости к плоскости горизонта в точках, лежащих на расстоянии $r = 5$ см от оси?

8.163. Если сосуд с водой вращать (рис. 8.49), то давление на дно у стенки сосуда больше, чем в центре. Почему же вода не течет от стенки сосуда к его центру?

8.164. Цилиндрический сосуд радиусом R, заполненный жидкостью, вращается вокруг своей оси (рис. 8.50). К боковой стенке сосуда на нити длиной l

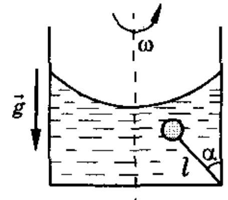


Рис. 8.50

привязан воздушный шарик радиусом r. Во время вращения нить образует со стенкой угол α. Определить угловую скорость вращения цилиндра. Поле тяжести направлено вдоль оси симметрии сосуда.

8.165. Для создания искусственной тяжести космический корабль цилиндрической формы вращается вокруг своей оси симметрии с угловой скоростью ω. Радиус основания корабля R. Бассейн на корабле имеет глубину H, а дном бассейна служит боковая стенка корабля. а) Сможет ли плавать космонавт в этом бассейне? б) В бассейне можно было бы наблюдать следующее интересное явление: два шара, связанные нитью, в зависимости от глубины погружения движутся или к свободной поверхности, или к стенке космического корабля, если плотность одного шара больше, а другого меньше плотности воды. Объяснить это явление. в) Определить плотность плавающей в этом бассейне палочки длиной $l < H$, если она плавает вертикально и из воды выступает ее часть длиной a.

8.166. Открытая цистерна с водой стоит на рельсах, по которым может двигаться без трения (рис. 8.51). Масса цистерны M, масса воды m. Сверху в цистерну на расстоянии l от центра падает вертикально груз массой m_1. В какую сторону и на сколько сдвинется цистерна к тому времени, когда движение воды успокоится и груз будет плавать?

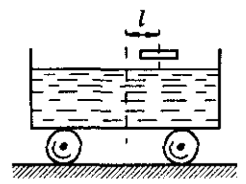


Рис. 8.51

8.167. Найти период малых колебаний ареометра массой m в жидкости плотностью ρ. Ареометр представляет собой закрытую трубку с площадью поперечного сечения S. При погружении в жидкость он плавает так, что трубка располагается вертикально. Надавливая на верхний конец трубки, плавающий ареометр выводят из положения равновесия, после чего он начинает колебаться. Какова длина математического маятника с тем же периодом колебаний?

8.168. После загрузки судна период его малых вертикальных колебаний увеличился с $T = 7$ с до $T = 7{,}5$ с. Определить массу груза, если площадь поперечного сечения судна на уровне ватерлинии $S = 500$ м^2.

8.169. Определить период малых колебаний жидкости, налитой в U-образную трубку. Сечение трубки всюду одинаково. Открытые концы направлены вертикально вверх. Длина части трубки, занятой жидкостью, l.

8.170. Плотность жидкости в сосуде меняется в зависимости от глубины по закону $\rho = (\rho_0 + \alpha H)$, где ρ_0 — плотность у поверхности жидкости, α — постоянная, H — глубина. Найти период колебаний маленького шарика плотность $\rho_ш$ вблизи положения равновесия.

Течение идеальной жидкости

8.171. Определить скорость ветра, если он оказывает давление $p = 200$ Па. Ветер дует перпендикулярно стене. Плотность воздуха $\rho = 1{,}29$ кг/м^3.

8.172. Сосуд наполнен двумя несмешивающимися жидкостями, плотность которых ρ_1 и ρ_2 ($\rho_1 > \rho_2$).

8.173. Вода течет по горизонтальной трубе переменного сечения. Скорость течения в широкой части трубы $\upsilon_1 = 20$ см/с. Определить скорость течения воды в узкой части трубы, диаметр которой в $\eta = 1{,}5$ раза меньше диаметра широкой части.

8.174. С катера, идущего со скоростью $\upsilon = 18$ км/ч, опускают в воду изогнутую под прямым углом трубку так, что опущенный конец трубки горизонтален и обращен отверстием в сторону движения. Другой конец трубки, находящийся в воздухе, вертикален. На какую высоту по отношению к уровню воды в озере поднимется вода в трубке? Трением пренебречь.

8.175. В широкой части горизонтально расположенной трубы нефть течет со скоростью $\upsilon_1 = 2$ м/с. Определить скорость течения нефти в узкой части тубы, если разность давлений в широкой и узкой частях трубы составляет $\Delta p = 50$ мм рт. ст.

8.176. Трубка Пито установлена по оси газопровода, площадь внутреннего сечения которого равна S (рис. 8.52). Пренебрегая вязкостью, найти объем газа Q, проходящего через сечение трубы в единицу времени, если разность уровней в жидкостном манометре равна Δh, а плотности жидкости и газа — соответственно ρ_0 и ρ.

8.177. На рисунке 8.53 представлена схема водомера: по горизонтальной трубе переменного сечения протекает вода. Определить расход воды Q по разности уровней воды Δh в двух манометрических трубках. Сечение трубы у основания трубок S_2 и S_1.

8.178. На поршень горизонтально расположенного шприца (рис. 8.54) площадью поперечного сечения S_1 действует постоянная горизонтальная

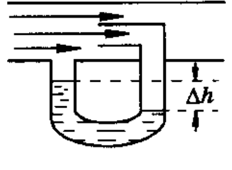




Рис. 8.52

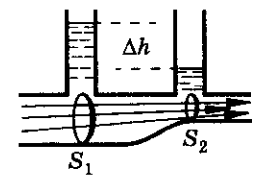


Рис. 8.53

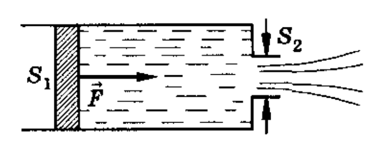


Рис. 8.54

сила F. С какой скоростью вытекает струя из отверстия площадью S_2, если плотность жидкости ρ и поршень движется равномерно?

8.179. Площадь поперечного сечения поршня в шприце S_1, площадь выходного отверстия $S_2 << S_1$. Шприц расположен горизонтально. На поршень действует постоянная горизонтальная сила F. Ход поршня равен l. Найти время вытекания жидкости из шприца, если ее плотность ρ.

8.180. Во сколько раз отличается площадь поперечного сечения вертикальной струи воды S_2 на высоте h от площади сечения выходного отверстия S_1 брандспойта? Скорость воды в выходном отверстии v_0.

8.181. На какой высоте площадь поперечного сечения струи фонтана будет в n раз больше площади выходного отверстия трубки? Скорость воды в выходном отверстии v.

8.182. На какой высоте h плита массой M удерживается на месте в горизонтальном положении N струями жидкости, бьющими вертикально вверх из отверстий сечением S каждое? Скорость жидкости на выходе из отверстий v. Жидкость упруго ударяется о плиту.

8.183. Под каким углом к горизонту направлена струя воды из брандспойта (рис. 8.55) и какой наибольшей высоты она достигнет, если площадь ее поперечного сечения при выходе из сопла S_1, а в высшей точке — S_2? Скорость истечения воды из сопла v_0.

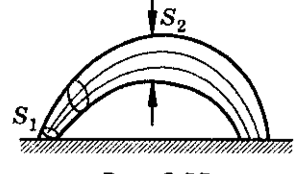


Рис. 8.55

8.184. Поршень вытесняет воду из вертикального цилиндрического сосуда через малое отверстие, находящееся у дна сосуда и имеющее площадь S_0. Высота сосуда равна h, площадь основания S. Какую работу совершает поршень, если он движется с постоянной скоростью v? Плотность воды ρ.

8.185. На поверхности стола стоит широкий сосуд с водой. Высота уровня воды в сосуде h, вес сосуда вместе с водой P. В боковой поверхности сосуда у дна имеется отверстие площадью S, закрытое пробкой. При каком значении коэффициента трения между дном сосуда и столом сосуд придет в движение, если вынуть пробку?

8.186. Бак, заполненный водой до высоты $H = 1$ м, пробивается пулей на высоте $h = 0{,}1$ м. На какое расстояние от бака будет бить струя воды? Где следовало бы сделать отверстие, чтобы струя била на максимальное расстояние?

8.187. В стене сосуда с водой просверлили одно над другим два отверстия, площадью $S = 0{,}2$ см^2 каждое. Расстояние между отверстиями $H = 50$ см. В сосуд ежесекундно вливается и выливается из него через отверстия $V = 140$ см^3 воды. Найти точку пересечения струй, вытекающих из отверстий.

8.188. Цилиндрический бак, имеющий площадь поперечного сечения S, стоит неподвижно на горизонтальный поверхности (рис. 8.56). В его стенке находится отверстие, площадь сечения которого $S_1 << S$, расположенное на расстоянии h_1 от поверхности воды в баке и h_2 от дна. Найти площадь поперечного сечения S_2 струи, вытекающей из отверстия, в месте ее падения на горизонтальную поверхность.

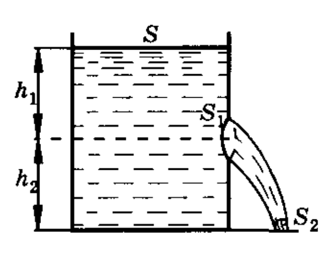


Рис. 8.56

8.189*. На дне бассейна имеется отверстие для слива воды площадью S. Скорость, с которой вода вытекает из отверстия, пропорциональна давлению воды на дно. Коэффициент пропорциональности равен k. Бассейн имеет вертикальные стенки и горизонтальное дно, площадь которого S_1. Определить зависимость скорости падения уровня воды в бассейне от глубины.

Таблица 8

Формулы	Обозначения	Единицы измерения
Гидравлический пресс $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$; $h_1S_1 = h_2S_2$	F_1, F_2 — силы, действующие на малый и большой поршень S_1,S_2 — площади сечений малого и большого поршней h_1, h_2 — высота опускания (поднятия) малого (большого) поршня за один ход	1 Н 1 м^2 1 м
Давление внутри жидкости и на дно сосуда $p = p_0 + \rho gh$	p — давление внутри жидкости на глубине h p_0 — атмосферное давление	1 Па 1 мм рт. ст. = = 133 Па
Закон Архимеда $F_A = \rho gV$	ρ — плотность жидкости h — глубина погружения F — сила Архимеда V — объем воды, вытесненный телом	1 кг/м^3 1 м^3
Уравнение Бернулли $p + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const}$; $p_1 + \rho gh_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \rho gh_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$	p — внешнее давление ρgh — статическое давление $\frac{\rho v^2}{2}$ — динамическое давление	1 Па
Уравнение неразрывности струи $S_1v_1 = S_2v_2$	v — скорость жидкости S — площадь сечения	

Молекулярная физика и термодинамика

9. Молекулярно-кинетическая теория. Уравнение состояния

Количество вещества. Дискретное строение вещества

9.1. На фотоснимке видимый диаметр молекулы некоторого вещества равен 0,5 мм. Чему равен действительный диаметр молекулы данного вещества, если фотоснимок получен с помощью электронного микроскопа с увеличением в 200 000 раз?

9.2. Капля масла объемом 0,003 мм^3 растеклась по поверхности воды тонким слоем и заняла площадь 300 см^2. Принимая толщину слоя равной диаметру молекулы масла, определить этот диаметр.

9.3. Можно ли сказать, что объем газа в сосуде равен сумме объемов его молекул?

9.4. Если смешать по два равных объема ртути и воды, спирта и воды, то в первом случае получится удвоенный объем смеси, а во втором — меньше удвоенного объема. Почему?

9.5. Чем отличается траектория движения молекулы в воздухе от ее траектории в вакууме?

9.6. Броуновские частицы в опытах Перрена имели размер 1 мкм. Во сколько раз они больше молекул воды, диаметр которых 10^{-8} см?

9.7. Какое количество вещества содержится в медном бруске массой 6 кг?

9.8. В сосуде находится $5{,}418 \cdot 10^6$ молекул кислорода. Какое количество вещества, выраженное в молях, находится в этом сосуде?

9.9. Какова масса 200 молей азота?

9.10. Капелька воды имеет массу 10^{-10} г. Из скольких молекул она состоит?

9.11. Какое количество молекул содержится в $m = 10$ г водорода?

9.12. Из открытого стакана за время $t = 5$ сут полностью испарилось $m = 50$ г воды. Сколько в среднем молекул вылетало с поверхности воды за одну секунду?

9.13. Плотность воды при нормальных условиях $\rho = 10^3$ кг/м^3. Можно считать, что каждая молекула воды ограничена сферой радиуса R. Эти сферы касаются друг друга, а их центры образуют кубическую решетку. Оценить массу молекулы воды и ее размер.

9.14. Подсчитать число молекул, содержащееся в углекислом газе массой $m = 100$ г. Найти массу молекулы и концентрацию молекул при нормальных условиях. Плотность газа при нормальных условиях $\rho = 1,94$ кг/м^3.

9.15. Оценить концентрацию свободных электронов в натрии, полагая, что на один атом приходится один свободный электрон. Плотность натрия $\rho = 970$ кг/м^3.

9.16. Вычислить плотность водорода, если известно, что число его молекул N в сосуде вдвое больше числа Авогадро $N_А$, а объем сосуда $V = 40$ л.

9.17. Какое количество вещества содержится в кислороде массой $m = 48$ г, если треть его молекул находится в диссоциированном состоянии?

9.18. Определить расстояние между ближайшими ионами кубической кристаллической решетки железа.

9.19. Принимая молекулу газа за шарик диаметром $d = 0,3$ нм, вычислить, какую часть объема газа при нормальных условиях занимают его молекулы. Каково среднее расстояние между ними?

9.20. Плотность неизвестного газа $\rho = 0,09$ кг/м^3. При этом в объеме $V = 0,1$ м^3 содержится $N = 2,7 \cdot 10^{24}$ молекул. Какой это газ? Определить его молярную массу.

9.21. Радоновые ванны содержат $N = 1,8 \cdot 10^6$ атомов радона на объем воды $V = 1$ дм^3. На сколько молекул воды приходится один атом радона?

9.22. Какая масса m углекислого газа CO_2 растворена в бутылке с лимонадом объемом $V = 0,5$ л, если на одну молекулу газа приходится $N_1 = 5,56 \cdot 10^5$ молекул воды?

9.23. Если пометить все молекулы в одном стакане воды и вылить эту воду в Мировой океан, а потом вновь зачерпнуть стакан воды, то сколько в нем будет меченых молекул? Объем воды Мирового океана $V_1 = 1{,}31 \cdot 10^{18}$ м^3, объем стакана $V_2 = 200$ см^3.

9.24. Сравнить число молекул воды и ртути, содержащееся в равных объемах.

Давление газа. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории

9.25. Каково давление газа, если в каждом кубическом сантиметре его содержится $n = 10^6$ молекул, а температура газа $t = 87$ °C?

9.26. Давление газа в современной телевизионной трубке $p \approx 10^{-9}$ атм. Какое число молекул содержится в объеме $V = 1$ см^3 при комнатной температуре?

9.27. Современные вакуумные насосы позволяют понижать давление до $p = 10^{-12}$ мм рт. ст. Сколько молекул газа содержится в объеме $V = 1$ см^3 при этом давлении и температуре $t = 48$ °C?

9.28. Сколько молекул газа находится в сосуде объемом $V = 480$ см^3 при температуре $t = 20$ °C и давлении $p = 250$ кПа?

9.29. Оценить число молекул воздуха в атмосфере Земли, считая, что молярная масса воздуха $M = 29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

9.30. Оценить среднее расстояние между молекулами газа при нормальных условиях.

9.31. Во сколько раз изменится среднее расстояние между молекулами газа, если при постоянном давлении повысить температуру в 4 раза?

9.32. Какое давление на стенки сосуда производит кислород, если скорость его молекул $v = 400$ м/с и в объеме $V = 1$ см^3 число молекул $N = 2{,}7 \cdot 10^{19}$?

9.33. В закрытом сосуде находится один моль некоторого идеального газа. Из опытов найдено, что $\frac{p}{T} = 371$ Па/К. Определить концентрацию молекул и объем сосуда.

9.34. В сосуде объемом $V = 10$ л находится $N = 1{,}24 \cdot 10^{24}$ молекул кислорода O_2 при давлении $p = 4$ атм. Какое количество атомов гелия будет находиться в таком же сосуде при тех же давлении и температуре? Чему равна температура газа T в сосуде?

9.35. Спутник площадью поперечного сечения $S = 3$ м^2 движется по круговой орбите над Землей со скоростью $v = 7{,}9$ км/с. Давление воздуха на высоте орбиты $p = 1{,}38 \cdot 10^{-4}$ Па, температура $T = 120$ К. Определить число столкновений молекул воздуха со спутником за время $t = 1$ с.

9.36. Газ плотностью $\rho = 5{,}95$ кг/м^3 находится при температуре $t = 0$ °С. Найти давление газа, если масса молекулы $m_0 = 7{,}3 \cdot 10^{-26}$ кг. Какой это газ?

9.37. В баллоне объемом $V = 10$ л находится газ при температуре $t = 27$ °С. Вследствие утечки газа давление снизилось на $p = 4{,}2$ кПа. Сколько молекул вышло из баллона?

9.38. Определить среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекулы идеального газа, если при давлении $p = 2 \cdot 10^5$ Па концентрация молекул газа $n = 5 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$.

9.39. Средняя энергия молекулы одноатомного идеального газа $E_к = 0{,}038$ эВ. (1 эВ = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж.) Давление газа $p = 0{,}2$ мПа. Найти число молекул в одном кубическом метре газа.

9.40. При какой температуре средняя кинетическая энергия молекулы идеального одноатомного газа $E_к = 2 \cdot 10^{-20}$ Дж?

9.41. Во сколько раз изменится температура аргона, если средняя кинетическая энергия его атома увеличится на $\eta = 50\%$?

9.42. На сколько изменится средняя кинетическая энергия атома неона, если его температура уменьшится в $n = 4$ раза? Начальное значение средней кинетической энергии атома $E_{к1} = 7 \cdot 10^{-21}$ Дж.

9.43. На сколько изменилась температура аргона, если средняя кинетическая энергия атома аргона уменьшилась в $n = 1{,}2$ раза? Начальная температура аргона $T_1 = 400$ К.

9.44. Во сколько раз изменится средняя кинетическая энергия атома неона при уменьшении его абсолютной температуры на $\eta = 30\%$?

9.45. Определить кинетическую энергию $N = 10^5$ атомов гелия при температуре $t = 47$ °С.

9.46. Гелий находится при температуре $t = 27$ °С. Кинетическая энергия теплового движения всех молекул газа $E_к = 10$ Дж. Определить число молекул гелия.

9.47. В баллоне емкостью $V = 50$ л находится одноатомный газ в количестве $\nu = 0{,}12$ кмоль при давлении $p = 6 \cdot 10^6$ Па. Определить среднюю энергию теплового движения молекулы газа.

9.48. Газ занимает объем $V = 4$ л при давлении $p = 5 \cdot 10^2$ Па. Найти суммарную кинетическую энергию поступательного движения молекул.

9.49. При какой температуре средняя энергия теплового движения атома неона будет достаточна для того, чтобы атом преодолел земное тяготение и покинул атмосферу?

9.50. Во сколько раз изменится давление одноатомного газа в результате уменьшения его объема в 3 раза и увеличения средней кинетической энергии его молекул в 2 раза?

Характерные скорости молекул

9.51. Определить среднюю квадратичную скорость молекул кислорода при температуре $t = 20$ °С. При какой температуре эта скорость будет $\upsilon = 500$ м/с?

9.52. В воздухе взвешена пылинка массой $m = 1,242 \cdot 10^{-20}$ кг. Температура воздуха $T = 300$ К. Подсчитать среднюю квадратичную скорость пылинки и ее кинетическую энергию.

9.53. Капелька воды, взвешенная в воздухе, движется со средней квадратичной скоростью $\upsilon \approx 1,7$ м/с. Радиус капли $r = 10^{-6}$ см. Найти температуру воздуха.

9.54. Найти импульс молекулы азота, скорость которой равна средней квадратичной скорости при температуре $T = 300$ К.

9.55. Молекула кислорода, ударившись о стенку сосуда, передала ей импульс $\Delta p = 5,06 \cdot 10^{-23}$ кг · м/с. Найти температуру газа в сосуде, если скорость данной молекулы была направлена под углом $\alpha = 30°$ к стенке и равнялась по величине удвоенной среднеквадратичной скорости.

9.56. Определить, во сколько раз средняя квадратичная скорость пылинки массой $m = 1,75 \cdot 10^{-12}$ кг, взвешенной в воздухе, меньше средней квадратичной скорости движения молекул воздуха.

9.57. При некоторой температуре молекулы кислорода имеют среднюю квадратичную скорость 460 м/с. Какова при этой температуре средняя квадратичная скорость молекул азота?

9.58. Средняя квадратичная скорость молекул некоторого газа $\upsilon = 480$ м/с при температуре $T = 296$ К. Сколько молекул содержится в $m = 10$ г этого газа?

9.59. Повышение температуры газа на $\Delta T = 150$ К привело к увеличению средней квадратичной скорости его молекул от $\upsilon_1 = 400$ м/с до

$v_2 = 500$ м/с. На сколько должна измениться температура этого газа, чтобы дополнительно повысить среднюю квадратичную скорость еще на 100 м/с (т. е. увеличить ее с $v_2 = 500$ м/с до $v_3 = 600$ м/с)?

9.60. Один сосуд заполнен гелием, а другой такой же — кислородом. Температура газов одинакова: $T = 300$ К. На сколько следует изменить температуру газа в одном из сосудов, чтобы средние квадратичные скорости молекул гелия и кислорода стали равными? Рассмотреть возможные варианты решения.

9.61. Во сколько раз возрастет средняя квадратичная скорость v теплового движения молекул одноатомного газа, помещенного в закрытый сосуд, движущийся со скоростью $u = 2v$, при его резкой остановке? Во сколько раз изменится температура газа?

9.62. Две одинаковые колбы с одинаковым количеством молекул водорода в них соединены трубкой с краном. Средняя квадратичная скорость молекул в первой колбе $v_1 = 400$ м/с, а во второй — $v_2 = 600$ м/с. Какая установится средняя квадратичная скорость, если открыть кран, соединяющий колбы? Теплообмена с окружающей средой нет.

9.63. Давление газа в закрытом сосуде увеличилось после его нагревания в 16 раз ($p_2 = 16p_1$). Во сколько раз изменилась средняя квадратичная скорость его молекул?

9.64. Сравнить давление кислорода и водорода при одинаковых концентрациях молекул, если их средние квадратичные скорости одинаковы.

9.65. Во сколько раз изменится давление газа при уменьшении его объема в 3 раза, если средняя квадратичная скорость останется неизменной?

9.66. В закрытом сосуде находится идеальный газ. На сколько процентов изменится его давление, если средняя квадратичная скорость его молекул увеличится на $\eta = 20\%$?

9.67. Найти концентрацию молекул кислорода, если его давление $p = 0{,}2$ МПа, а средняя квадратичная скорость молекул $v = 700$ м/с.

9.68. Найти давление электронного газа в германиевом полупроводнике, если известно, что в объеме полупроводника $V = 1$ см^3 содержится $N = 10^{15}$ свободных электронов, движущихся со средней квадратичной скоростью $v = 100$ км/с. Электронный газ считать идеальным.

9.69. При давлении $p = 10^5$ Па плотность воздуха $\rho = 1{,}29$ кг/м^3. Вычислить среднюю квадратичную скорость его молекул.

9.70. При температуре $T = 300$ К плотность газа $\rho = 1{,}2$ кг/м^3, а средняя квадратичная скорость молекул $\upsilon = 500$ м/с. Найти концентрацию молекул газа.

9.71. Плотность газа в баллоне газонаполненной электрической лампы $\rho = 0{,}9$ кг/м^3. При горении лампы давление в ней возросло от $p_1 = 80$ кПа до $p_2 = 110$ кПа. На сколько увеличилась при этом средняя квадратичная скорость молекул газа?

9.72. Сосуд сообщается с окружающим пространством через малое отверстие. Температура газа в окружающем пространстве T, давление p. Газ настолько разрежен, что молекулы, пролетая в сосуд и из сосуда, на протяжении размеров отверстия не сталкиваются друг с другом. В сосуде поддерживается температура $4T$. Каким будет давление в сосуде $p_с$?

9.73. На сколько процентов увеличится средняя квадратичная скорость молекул водяного пара при повышении температуры от $t_1 = 37$ °С до $t_2 = 40$ °С?

9.74. Какой скоростью обладает молекула паров серебра, если ее угловое смещение в опыте Штерна составляет $\Delta\varphi = 5{,}4°$ при частоте вращения прибора $\nu = 150$ с$^{-1}$? Расстояние между внутренним и внешним цилиндрами $R = 2$ см.

9.75. Каково будет смещение напыленной полоски металла в приборе Штерна при частоте вращения $\nu = 20$ с$^{-1}$ и при скорости атомов $\upsilon = 300$ м/с? Радиус цилиндра $R = 10$ см.

9.76. Два баллона соединены непроводящей тепло тонкой трубкой. Объемы баллонов $V_1 = 12 \cdot 10^{-2}$ м^3, $V_2 = 8 \cdot 10^{-2}$ м^3. В баллонах находится идеальный газ в количестве $\nu = 3$ моля. Первый баллон поддерживается при температуре $t_1 = 0$ °С. До какой температуры нужно нагреть второй баллон, чтобы в нем осталась одна треть общего количества газа? Каким будет давление в сосудах?

9.77. Определить отклонение маятника от положения равновесия, вызванное тепловым движением шарика маятника. Температура воздуха равна T, масса шарика — m, длина нити — l.

9.78*. Определить температуру газа, при которой средняя квадратичная скорость молекул водорода больше их наиболее вероятной скорости на $\Delta\upsilon = 400$ м/с. Найти среднюю арифметическую скорость молекул водорода при этой температуре.

9.79*. Найти наиболее вероятную скорость, среднюю арифметическую и среднюю квадратичную скорости молекул гелия при температуре $t = 200$ °C.

9.80*. Баллон массой $m = 1$ кг, объемом $V = 1$ л заполнен азотом так, что при температуре $t = 20$ °C давление в баллоне $p = 1$ атм. С какой скоростью стал бы двигаться баллон, если бы удалось упорядочить хаотическое тепловое движение так, чтобы все молекулы азота двигались в одну сторону?

Изопроцессы

9.81. При давлении $p_1 = 780$ мм рт. ст. объем воздуха $V = 5$ л. Найти его объем при давлении $p_2 = 750$ мм рт. ст. Температура воздуха не меняется.

9.82. Во сколько раз изменится давление газа в цилиндре, если его объем уменьшить, продвинув поршень на $\frac{1}{3}$ высоты цилиндра? Температура газа не меняется.

9.83. Газ изотермически сжат от объема $V_1 = 8$ л до объема $V_2 = 6$ л. Давление при этом возросло на $\Delta p = 4 \cdot 10^3$ Па. Определить первоначальное давление.

9.84. Идеальный газ сжимают изотермически так, что давление газа изменяется в $n = 3$ раза. На сколько при этом изменяется объем, занимаемый газом, если начальный объем газа $V_1 = 6$ л?

9.85. Идеальный газ расширяют изотермически так, что объем газа изменяется в $n = 1{,}4$ раза, а давление — на $\Delta p = 2$ атм. Найти начальное давление газа.

9.86. При изотермическом сжатии объем газа уменьшился на $\Delta V_1 = 1$ л. При этом его давление возросло на $\eta_1 = 20\%$. На сколько процентов увеличилось бы давление, если бы объем был уменьшен на $\Delta V_2 = 2$ л?

9.87. Выходное отверстие велосипедного насоса диаметром $d = 4$ мм зажато пальцем (рис. 9.1). Найти силу давления воздуха на палец в тот момент, когда поршень, сжимая воздух, не доходит до конца насоса на расстояние $l_2 = 2$ см. Длина насоса $l_1 = 42$ см. Процесс считать изотермическим.

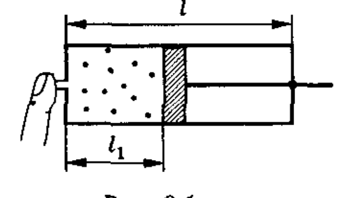


Рис. 9.1

9.88. Чтобы изотермически уменьшить объем газа в цилиндре с поршнем в n раз, на поршень поместили груз массой m. Какой массы m_1 груз следует добавить, чтобы объем газа изотермически уменьшился еще в k раз?

9.89. В цилиндре под поршнем находится воздух. Поршень имеет форму, показанную на рисунке 9.2. Масса поршня $M = 6$ кг, площадь сечения цилиндра $S_0 = 20$ см. Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па. Какой массы груз надо положить на поршень, чтобы объем воздуха уменьшился в два раза? Температура воздуха постоянна, трение не учитывать.

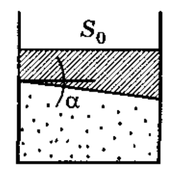


Рис. 9.2

9.90. При давлении $p = 2 \cdot 10^6$ Па идеальный газ занимает объем $V = 5$ л. В результате изотермического расширения его объем увеличился на $\Delta V = 1$ л, а концентрация молекул стала равной $n = 3{,}62 \cdot 10^{26}$ м$^{-3}$. При какой температуре протекал этот процесс?

9.91. Электрическая лампа наполнена азотом при давлении $p_1 = 600$ мм рт. ст. Объем лампы $V = 500$ см^3. Какая масса воды войдет в лампу, если у нее отломить кончик под водой при давлении $p_2 = 760$ мм рт. ст.?

9.92. Песок насыпают в цилиндр и плотно закрывают поршнем. При суммарном объеме песка и воздуха V_1 давление воздуха равно p_1, а при суммарном объеме V_2 давление воздуха равно p_2. Найти объем песка V, если температура неизменна.

9.93. Упругий шар, наполненный газом и имеющий радиус $r_1 = 10$ см при внешнем давлении $p_0 = 10^5$ Па, помещен под колокол воздушного насоса. Каким должно стать внешнее давление p_x, чтобы радиус шара увеличился на $\Delta r = 0{,}5$ см? Давление, создаваемое оболочкой, $p = ar^2$, где $a = 1{,}66 \cdot 10^7$ Па/м^2 и r — радиус шара. Температуру газа считать неизменной.

9.94. В цилиндре под поршнем изобарически охлаждают газ объемом $V_1 = 10$ л от температуры $T_1 = 323$ К до температуры $T_2 = 273$ К. Каков объем газа при температуре T_2?

9.95. Газ в трубе плавильной печи охлаждается от температуры $t_1 = 1150$ °С до температуры $t_2 = 200$ °С. Во сколько раз увеличивается плотность газа при этом? Давление газа не меняется.

7- 1695

9.96. Идеальный газ нагревают от температуры $T_1 = 300$ К до температуры $T_2 = 750$ К при постоянном давлении, в результате чего его объем увеличивается на $\Delta V = 6 \cdot 10^{-3}$ м^3. Определить первоначальный объем газа.

9.97. При сгорании топлива в цилиндре дизельного двигателя во время предварительного расширения объем газа увеличился в $n = 2{,}2$ раза при постоянном давлении. Определить изменение температуры, если начальная температура газа $T_1 = 1650$ К.

9.98. Температура воздуха в горизонтальном цилиндре с поршнем $t_1 = 7$ °С. На какое расстояние переместится поршень при нагревании воздуха на $\Delta T = 20$ К, если вначале он находился на расстоянии $l = 14$ см от торца цилиндра?

9.99. При нагревании некоторой массы идеального газа на один градус при постоянном давлении его объем увеличился на $\alpha = \dfrac{1}{350}$ часть. Найти первоначальную температуру газа.

9.100. Газовый термометр состоит из шара с припаянной к нему горизонтальной стеклянной трубкой (рис. 9.3). Капелька ртути, помещенная в трубку, отделяет объем шара от внешнего пространства. Площадь поперечного сечения трубки $S = 0{,}1$ см^2. При температуре $T_1 = 273$ К капелька находилась на расстоянии $l_1 = 30$ см от поверхности шара, при температуре $T_2 = 278$ К — на расстоянии $l_2 = 50$ см. Найти объем шара и зависимость $T(l)$. Давление считать постоянным.

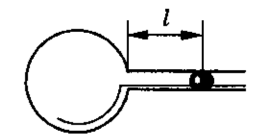


Рис. 9.3

9.101. При температуре $t_1 = 27$ °С давление газа в закрытом сосуде $p_1 = 75$ кПа. Каким будет давление при температуре $t_2 = -13$ °С?

9.102. В нерабочем состоянии при температуре $t_1 = 7$ °С давление газа в колбе газонаполненной электрической лампы накаливания $p_1 = 80$ кПа. Найти температуру газа в горящей лампочке, если давление в рабочем режиме возрастает до $p_2 = 100$ кПа.

9.103. При какой температуре находился газ в закрытом сосуде, если при нагревании его на $\Delta T = 140$ К давление возрастает в $n = 1{,}5$ раза?

9.104. На сколько изменилось давление воздуха в автомобильной шине при повышении температуры на $\Delta T = 30$ К, если при температуре $T_1 = 270$ К давление было $p_1 = 3{,}6 \cdot 10^5$ Па? Изменением объема шины пренебречь.

9.105. Сосуд с газом плотно закрыт пробкой, площадь сечения которой $S = 2,5$ см^2. До какой температуры надо нагреть газ, чтобы пробка вылетела из сосуда, если сила трения, удерживающая пробку, $F = 12$ Н? Начальное давление воздуха в сосуде $p_1 = 10^5$ Па, а начальная температура $t_1 = -3$ °С.

9.106. Давление воздуха в сосуде $p_0 = 768$ мм рт. ст. Объем цилиндра разрежающего насоса в $\eta = 3$ раза меньше объема сосуда. Какое давление p_n установится в сосуде после $n = 3$ ходов поршня? Изменением температуры пренебречь.

9.107. Объем сосуда $V = 300$ см^3, объем цилиндра разрежающего насоса $V_1 = 200$ см^3. После $n = 6$ ходов поршня в сосуде установилось давление $p = 35$ мм рт. ст. Каково было первоначальное давление p_0 газа в сосуде? Изменением температуры пренебречь.

9.108*. В баллоне объемом $V = 1,5$ л находится воздух при нормальном давлении. За сколько ходов поршня насоса, имеющего объем цилиндра $V_1 = 100$ см^3, можно понизить давление в баллоне в $\eta = 100$ раз? Температуру считать постоянной.

9.109. Компрессор, обеспечивающий работу отбойных молотков, засасывает из атмосферы $V_0 = 100$ л воздуха в секунду. Сколько отбойных молотков может работать от этого компрессора, если для работы одного молотка необходимо $V = 100$ см^3 воздуха в секунду при давлении $p = 5 \cdot 10^6$ Па? Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па.

9.110. Во сколько раз изменится давление в резервуаре пневматического тормоза трамвайного вагона после $n = 250$ ходов поршня насоса, если объем резервуара $V = 30$ л? Насос за одно качание подает $\Delta V = 600$ см^3 воздуха при нормальном атмосферном давлении. Изменением температуры пренебречь. Начальное давление в резервуаре равно нормальному атмосферному.

9.111. За сколько ходов поршня насоса с рабочим объемом ΔV можно повысить давление от атмосферного p_0 до p в сосуде объемом V? Изменением температуры пренебречь.

9.112. Компрессор захватывает при каждом ходе поршня $\Delta V = 4$ л воздуха при нормальном атмосферном давлении и температуре $t_1 = -3$ °С и нагнетает его в резервуар емкостью $V = 1,5$ м^3. Температура воздуха в резервуаре держится около $t_2 = 45$ °С. Сколько ходов должен сделать поршень компрессора, чтобы давление в резервуаре увеличилось на $\Delta p = 20$ Па?

9.113. Начальное состояние газа p_0, V_0, T_0. Газ подвергли сначала изобарическому расширению до объема V_1, после чего нагрели при постоянном объеме до давления p_1. Найти температуру газа в конечном состоянии.

9.114. Газ, находящийся при температуре t_1 = 127 °С и давлении $p_1 = 4 \cdot 10^5$ Па, занимает первоначально объем V_1 = 2 л. Этот газ изотермически сжимают, а затем изобарически охлаждают до температуры t_2 = −73 °С и далее изотермически доводят его объем до V_2 = 1 л. Определить установившееся давление газа p.

9.115. Когда объем, занимаемый газом, уменьшили на $\eta_1 = 10\%$, а температуру увеличили на $\Delta T = 16$ К, его давление возросло на $\eta_2 = 20\%$. Какова начальная температура газа T_0?

9.116. Идеальный газ при температуре T_0 занимает объем V_0 и создает давление p_0. Определить давление газа при температуре T_1, если коэффициент объемного расширения равен α. (По определению $\alpha = \dfrac{\Delta V}{V\Delta T}$.)

9.117. Во сколько раз изменится средняя квадратичная скорость молекул идеального газа при увеличении его объема в n_1 = 2 раза? Давление газа при этом увеличилось в n_2 = 3 раза, масса неизменна.

9.118. В закрытом цилиндрическом сосуде находится газ при нормальных условиях. Сосуд расположен горизонтально и разделен подвижным поршнем в отношении $V_1 : V_2 = 1 : 2$. В каком отношении поршень будет делить сосуд, если его меньшую часть нагреть до t_1 = 127 °С, а большую охладить до t_2 = −123 °С?

9.119. В закрытом сосуде цилиндрической формы находится газ при температуре t_1 = 0 °С. Внутри сосуд перегорожен легким, не проводящим тепло поршнем радиуса r = 2 см на две части объемами V_1 = 10 см^3 и V_2 = 50 см^3. Поршень находится в равновесии. На какое расстояние переместится поршень, если большую часть газа нагреть на 30 К? Температура в другой части не меняется.

9.120°. В цилиндрическом сосуде с газом находится в равновесии тяжелый поршень (рис. 9.4). Масса газа и температура под поршнем и над ним одинаковы. Отношение объема над поршнем к объему под поршнем равно 3. Каким будет это отношение, если температуру в сосуде увеличить в 2 раза?

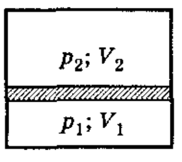


Рис. 9.4

9.121°. Найти период малых колебаний поршня массой m, разделяющего гладкий цилиндрический сосуд сечения S на две части, длиной l каждая (рис. 9.5). По обе стороны от поршня находится газ при давлении p_0 и температуре T_0. При колебаниях температура газа не меняется.

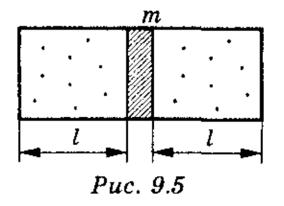


Рис. 9.5

9.122. Идеальный газ расширяется по закону pV^2 = const, где p — давление газа, V — занимаемый им объем. Найти первоначальную температуру газа T_1, если при увеличении его объема в $\eta = 3$ раза температура оказалась равной $T_2 = 100$ К.

9.123. Во время сжатия идеального газа его давление p и объем V изменяются по закону p/V = const. Температура газа уменьшилась при этом в $\eta = 4$ раза. Каково было начальное давление газа p_1, если после сжатия $p_2 = 10^5$ Па?

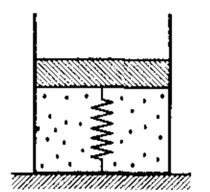


Рис. 9.6

9.124°. В цилиндре под легким поршнем, соединенным с дном цилиндра невесомой пружиной (рис. 9.6), находится газ под давлением $p = 0{,}1$ МПа, равным внешнему атмосферному давлению, и с температурой $t_1 = 0$ °С. До какой температуры надо нагреть газ, чтобы его объем увеличился в $n = 1{,}2$ раза? Если газ под поршнем полностью откачать, поршень будет находиться в равновесии у дна сосуда.

Графические задачи

9.125. На рисунке 9.7 представлены две изотермы идеального газа. Какая из изотерм при прочих равных условиях соответствует: большей температуре; большей массе?

9.126. На рисунке 9.8 изображены две изобары. Какая из них соответствует большему давлению?

9.127. На рисунке 9.9 представлены две изохоры для идеального газа. Какая из изохор соответствует большей плотности; большей концентрации?

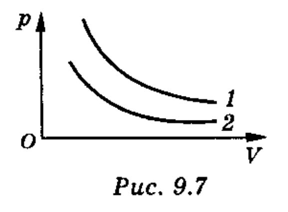


Рис. 9.7

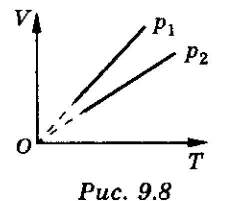


Рис. 9.8

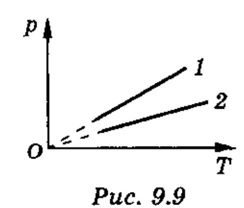


Рис. 9.9

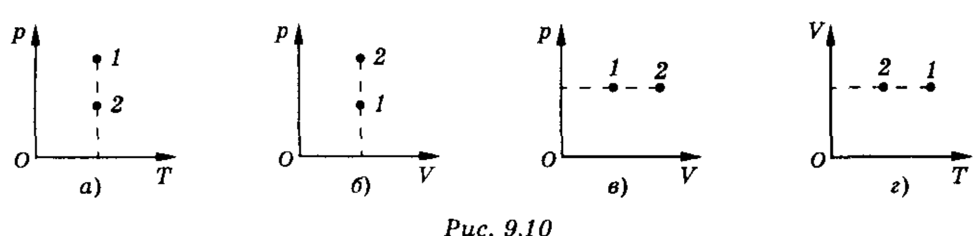


Рис. 9.10

9.128. На рисунке 9.10 точки *1* и *2* соответствуют термодинамическому состоянию одной и той же массы идеального газа. Каково соотношение (больше, меньше или равно) между давлениями, объемами и температурами газа в этих состояниях?

9.129. На рисунке 9.11 точки *1* и *2* соответствуют состояниям одной и той же массы идеального газа. Установить, в каком из указанных состояний больше давление, объем, температура.

9.130. С идеальным газом осуществляется цикл, приведенный на рисунке 9.12. Изобразить тот же цикл в координатах p, V и p, T.

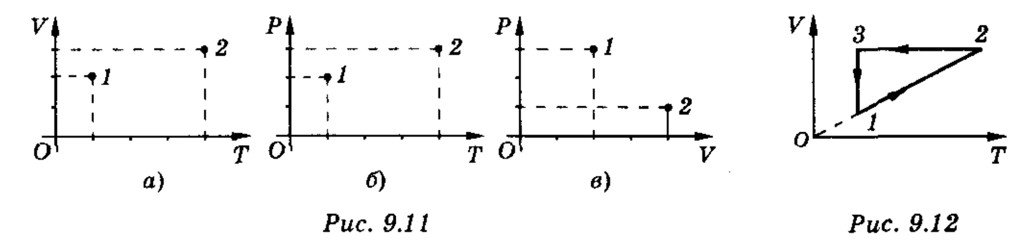


Рис. 9.11 Рис. 9.12

9.131. Изобразить на p—V- и p—T-диаграммах процесс, проводимый с идеальным газом, приведенный на рисунке 9.13.

9.132. Изобразить на p—V- и p—T-диаграммах процесс, проводимый с одним молем идеального газа, приведенный на рисунке 9.14.

9.133. Изобразить на V—T- и p—T-диаграммах процесс, приведенный на рисунке 9.15. Вещество — идеальный газ.

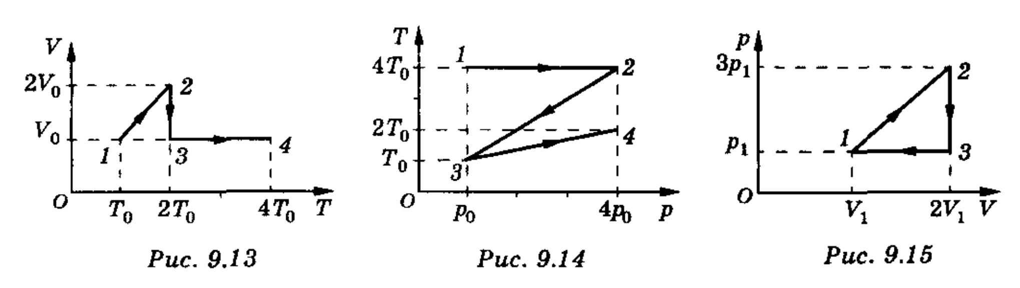


Рис. 9.13 Рис. 9.14 Рис. 9.15

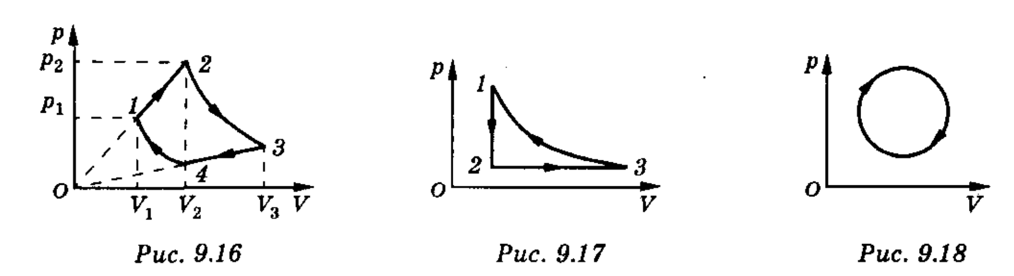


Рис. 9.16 Рис. 9.17 Рис. 9.18

9.134. График процесса, происходящего с одним молем идеального газа, показан на рисунке 9.16. Участки *2—3* и *1—4* — изотермы. Изобразить график этого процесса в координатах T, V. Найти объем V_3, если V_1 и $V_2 = V_4$ заданы.

9.135. В координатах p, V задан цикл *1—2—3—1* (рис. 9.17). Изобразить этот цикл в координатах ρ, T. ρ — плотность газа, процесс *3—1* — изотермический. Ответ обосновать.

9.136. Как меняется температура газа в процессе, график которого в координатах p, V изображен на рисунке 9.18?

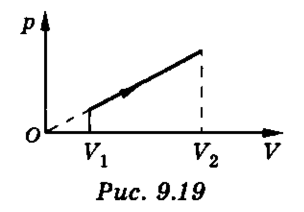


Рис. 9.19

9.137. На рисунке (рис. 9.19) приведен процесс изменения состояния идеального газа. Когда газ занимал объем V_1, его температура равнялась T_1. Какова будет температура газа T_2, когда он займет объем V_2?

Уравнение Менделеева—Клапейрона

9.138. Определить давление кислорода в баллоне объемом $V = 1$ м^3 при температуре $t = 27$ °С. Масса кислорода $m = 1$ кг.

9.139. Какой объем занимают два моля идеального газа в фотосфере Солнца? Температура фотосферы $T = 6000$ К, давление $p = 1{,}25 \cdot 10^2$ Па.

9.140. Каким может быть наименьший объем баллона, содержащего кислород массой $m = 6{,}4$ кг, если его стенки при температуре $t = 20$ °С выдерживают давление $p = 1568$ Н/см^2?

9.141. Доказать, что один моль идеального газа при нормальных условиях занимает объем $V = 22{,}4$ л. Сколько молекул при этом находится в единице объема (закон Авогадро)?

9.142. Баллон емкостью $V = 20$ л содержит углекислый газ массой $m = 0,5$ кг при давлении $p = 1,3$ МПа. Определить температуру газа.

9.143. Баллон емкостью $V = 12$ л содержит углекислый газ. Давление газа $p = 1$ МПа, температура $T = 300$ К. Определить массу газа.

9.144. При температуре $T = 309$ К и давлении $p = 0,7$ МПа плотность газа $\rho = 12$ кг/м^3. Определить молярную массу газа.

9.145. Высота пика Ленина на Памире 7134 м. Атмосферное давление на этой высоте $3,8 \cdot 10^4$ Па. Определить плотность воздуха на вершине пика при температуре 0 °С. Чему равно число молекул воздуха в единице объема при данных условиях?

9.146. Используя уравнение состояния идеального газа, доказать, что плотность любого газа равна половине плотности водорода ρ_{H_2} (взятого при тех же условиях), умноженной на относительную молекулярную массу этого газа M_r, т. е. $\rho = \rho_{H_2} M_r$.

9.147. До какой температуры T_1 при постоянном давлении $p = 10^5$ Па надо нагреть кислород, чтобы его плотность стала равна плотности водорода при том же давлении и температуре $T_2 = 200$ К?

9.148. Найти формулу некоторого соединения углерода с водородом, если известно, что это вещество массой $m = 0,66$ г в газообразном состоянии при температуре $t = 27$ °С в объеме $V = 1$ дм^3 создает давление $p = 10^5$ Па.

9.149. Найти формулу соединения углерода с кислородом, если известно, что это вещество в газообразном состоянии массой $m = 1$ г при температуре $t = 27$ °С и давлении $p = 5,6 \cdot 10^4$ Па занимает объем $V = 1$ дм^3.

9.150. При температуре $t = 27$ °С и давлении $p = 4,155 \cdot 10^5$ Па плотность газа $\rho = 2,833$ кг/м^3. Известно, что молекулы этого газа представляют собой соединение атомов азота N_7^{14} и водорода H_1^1. Определить молекулярную формулу этого соединения.

9.151. Пар органического соединения углерода C_6^{12}, водорода H_1^1 и кислорода O_2^{16}, формула которого $(C_3H_6O)_n$, массой $m = 716$ мг занимает при температуре $t = 200$ °С и давлении $p = 10^5$ Па объем $V = 242,6$ см^3. Найти число n.

9.152. Вода полностью заполняет сосуд емкостью $V = 1$ л. Температура воды $t = 27$ °С. Оценить давление, которое могло бы установиться внутри сосуда, если бы исчезли силы взаимодействия между молекулами воды.

9.153. В сосуде под поршнем находится $m_1 = 1$ г азота. Площадь поршня $S = 10$ см^2, его масса $m = 1$ кг. Азот нагревают на $\Delta T = 10$ К. На какую высоту при этом поднимется поршень? Давление над поршнем $p_0 = 10^5$ Па. Трения в системе нет.

9.154. Один моль гелия находится при температуре $T = 300$ К в вертикальном закрытом теплоизолированном цилиндре с поршнем массой $m_1 = 2$ кг и диаметром $d = 10$ см. На поршень ставят гирю массой $m_2 = 3$ кг. При этом поршень опускается на $h = 5$ см. Определить установившуюся температуру газа, если атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па.

9.155. Один моль идеального газа расширяется изобарически. При этом оказалось, что $\alpha = V/T = 2{,}8 \cdot 10^{-3}$ м^3/К. Определить концентрацию молекул газа при температуре $T_1 = 10^3$ К.

9.156°. Состояние идеального газа массой m изменяется в соответствии с законом $\frac{p^2}{T} = a$, где a — известная константа. Определить зависимость давления газа от его объема в этом процессе. Молярная масса газа равна M.

9.157°. Процесс в идеальном газе идет так, что давление и объем связаны равенством $p\sqrt{V} = B$. Когда температура газа достигает значения T, процесс продолжается при другом характере зависимости давления от объема: $p = -\frac{D}{V^2}$. Найти температуру T, считая константы B и D, а также количество молей газа известными.

9.158. Температуру воздуха в комнате подняли с $t_1 = 7$ °С до $t_2 = 27$ °С. Какая масса воздуха должна выйти из комнаты, чтобы давление осталось неизменным, $p = 10^5$ Па? Объем воздуха в комнате $V = 50$ м^3.

9.159. Газгольдер (баллон с предохранительным клапаном) содержит водород при температуре $t_1 = 15$ °С и давлении $p = 10^5$ Па. При нагревании баллона до температуры $t_2 = 37$ °С через клапан выходит водород массой $m = 6$ кг, вследствие чего давление не изменяется. Определить объем баллона.

9.160. При аэродинамическом торможении в атмосфере планеты температура внутри автоматического спускаемого аппарата увеличилась от температуры $t_1 = 20$ °С до температуры $t_2 = 80$ °С. Какую часть воздуха необходимо выпустить, чтобы давление внутри аппарата не изменилось?

9.161. В неплотно закрытом баллоне объемом $V = 10^{-2}$ м^3 при температуре $T = 293$ К и давлении $p = 10$ МПа находился водород. Сколько водорода было потеряно, если из оставшегося водорода может образоваться вода массой $m = 0{,}5$ кг?

9.162. Стеклянная колба закрыта пробкой и взвешена при температуре $t_1 = 15$ °С. Открыв пробку, колбу нагрели до температуры $t_2 = 80$ °С. При следующем взвешивании масса колбы оказалась на $m = 0{,}25$ г меньше. Чему равен объем колбы?

9.163. В баллоне, объем которого $V = 10$ л, находится гелий под давлением $p_1 = 10^5$ Па при температуре $t_1 = 27$ °С. После того как из баллона был взят гелий массой $m = 10$ г, давление в баллоне понизилось до $p_2 = 0{,}9 \cdot 10^5$ Па. Определить температуру гелия, оставшегося в баллоне.

9.164. В баллоне емкостью $V = 12$ л находится азот массой $m_1 = 1{,}5$ кг при температуре $t_1 = 37$ °С. Каким станет давление в баллоне при температуре $t_2 = 50$ °С, если выпустить $\eta = 35\%$ азота? Найти начальное давление азота.

9.165. В сосуде объемом $V = 1$ л находится идеальный газ. Сколько молекул газа нужно выпустить из сосуда, чтобы при понижении температуры в $k_2 = 2$ раза его давление уменьшилось в $k_1 = 4$ раза? Первоначальная концентрация молекул газа $n_1 = 2 \cdot 10^{26}$ м$^{-3}$.

9.166. Когда из сосуда выпустили некоторое количество газа, давление в нем упало на $\eta_1 = 40\%$, а абсолютная температура на $\eta_2 = 20\%$. Какую часть газа выпустили?

9.167. Определить, во сколько раз изменится концентрация молекул газа, если изобарически уменьшить абсолютную температуру в $a = 7$ раз, а затем количество газа уменьшить в $b = 14$ раз при том же давлении.

9.168. В сосуде объемом $V = 0{,}5$ л находится идеальный газ при давлении $p_1 = 1$ атм и температуре $t = 27$ °С. Сколько молекул газа нужно выпустить из сосуда, чтобы давление в нем уменьшилось в $n = 2$ раза? Температура газа не изменяется.

9.169. Во сколько раз изменится среднее расстояние между молекулами газа, если выпустить из сосуда $\frac{1}{5}$ часть газа и увеличить давление в 10 раз, поддерживая температуру постоянной?

9.170. Во сколько раз изменится среднее расстояние между молекулами газа, если выпустить из сосуда $\frac{1}{4}$ часть газа и увеличить температуру в 6 раз, поддерживая давление постоянным?

9.171. По трубе, площадь сечения которой $S = 5 \cdot 10^{-4}$ м^2, течет углекислый газ (CO_2) под давлением $p = 3{,}92 \cdot 10^5$ Па при температуре $T = 280$ К. Найти среднюю скорость протекания газа по трубе, если через поперечное сечение за время $t = 10$ мин проходит газ массой $m = 20$ кг.

9.172. В ампуле объемом $V = 3$ см^3, из которой откачан воздух, содержится радий массой $m = 5 \cdot 10^{-10}$ г в течение времени $t = 1$ год. Известно, что из радия массой $m_0 = 1$ г за время $t_0 = 1$ с вылетает $n_0 = 3{,}7 \cdot 10^{10}$ ядер гелия. Найти давление образовавшегося гелия при температуре $T = 300$ К. Считать, что скорость вылета числа частиц за время наблюдения остается неизменной; объем, занимаемый в ампуле радием, пренебрежимо мал.

9.173. Аэростат объемом $V = 300$ м^3 наполняется молекулярным водородом при температуре $T = 300$ К и давлении $p = 10^5$ Па. Какое время будет производиться наполнение оболочки аэростата, если из баллонов каждую секунду переходит в аэростат $\Delta m = 25$ г водорода? До наполнения газом оболочка аэростата водорода не содержала; газ считать идеальным.

9.174. Закрытый сосуд объемом $V = 10$ см^3 имеет трещину, через которую ежесекундно проникает $\Delta N = 10^6$ частиц газа. Какое время понадобится для наполнения сосуда до нормального давления $p = 10^5$ Па, если скорость проникновения частиц остается постоянной и начальное давление в сосуде $p_0 = 0$? Температура сосуда с газом $T = 273$ К.

9.175. Для дальней космической связи используется спутник объемом $V = 1000$ м^3, наполненный воздухом, находящимся при нормальных условиях. Метеорит пробивает в корпусе спутника отверстие площадью $S = 1$ см^2. Оценить время, через которое давление внутри спутника изменится на $\eta = 1\%$. Температуру газа считать неизменной.

9.176. Цилиндрический сосуд длиной $l = 85$ см разделен на две части легкоподвижным поршнем (рис. 9.20). При каком положении поршня давление в обеих частях цилиндра будет одинаково, если одна часть заполнена кислородом, а другая водородом такой же массы? Температура в обеих частях цилиндра одинакова.

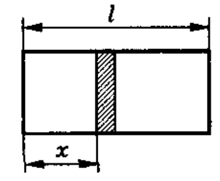


Рис. 9.20

9.177. Цилиндрический сосуд длиной l = 85 см разделен на две части легкоподвижным поршнем. В одной части сосуда находится водород, в другой — кислород той же массы. При каком отношении температур поршень будет делить сосуд на две равные части?

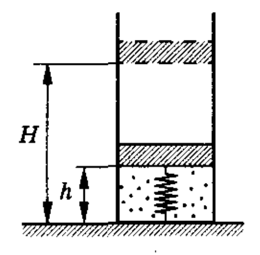


Рис. 9.21

9.178°. В вертикально расположенном цилиндре находится газ массой m = 0,01 кг. Он отделен от атмосферы поршнем, соединенным с дном пружиной жесткостью k = 20 Н/м (рис. 9.21). При температуре T_1 = 290 К поршень расположен на расстоянии h = 0,2 м от дна цилиндра. До какой температуры T_2 надо нагреть газ, чтобы поршень поднялся до высоты H = 0,5 м? Молярная масса μ = 29 кг/моль.

9.179*. Гелий массой m = 20 г бесконечно медленно переводят из состояния, в котором газ занимает объем V_1 = 32 л при давлении $p_1 = 4{,}1 \cdot 10^5$ Па, в состояние с термодинамическими параметрами V_2 = 9 л и $p_2 = 15{,}5 \cdot 10^5$ Па (рис. 9.22). До какой наибольшей температуры нагревается газ в этом процессе?

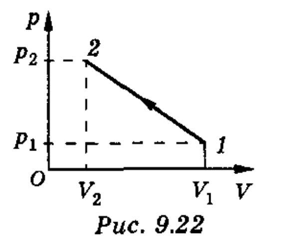


Рис. 9.22

9.180*. Два одинаковых сосуда соединены трубкой с клапаном, пропускающим газ из одного баллона в другой при разности давлений $\Delta p \geqslant 1{,}1$ атм. Сначала в одном баллоне был вакуум, а в другом идеальный газ при температуре t_1 = 19 °С под давлением p_1 = 1 атм. Затем оба баллона нагрели до температуры t_2 = 107 °С. Найти давление газа в баллоне, где был вакуум.

Закон Дальтона. Смеси газов

9.181. В колбе емкостью V = 4 л находятся кислород и азот при температуре 0 °С. Определить давление на стенки сосуда, если массы газов $m_1 = m_2$ = 1 г.

9.182. Какое давление воздуха должно быть в сосуде, объем которого V_1 = 10 л, чтобы при соединении его с сосудом объемом V_2 = 30 л, в котором находится воздух при давлении $p_2 = 10^5$ Па, установилось давление $p = 3 \cdot 10^5$ Па? Температуру считать постоянной.

9.183. Три баллона емкостями V_1 = 3 л, V_2 = 7 л, V_3 = 5 л наполнены соответственно кислородом (до давления p_1 = 2 атм), азотом (p_2 = 3 атм)

и углекислым газом (p_3 = 0,6 атм) при одной и той же температуре. Баллоны соединяют между собой, причем образуется смесь той же температуры. Найти давление смеси.

9.184. Два сосуда, заполненные разными идеальными газами, соединены трубкой с краном. Давление в сосудах p_1 и p_2, а число молекул N_1 и N_2 соответственно. Каким будет давление в сосудах, если открыть кран соединительной трубки? Температуру считать постоянной.

9.185. В сосуде объемом V_1 находится одноатомный газ при давлении p_1 и температуре T_1, а в сосуде объемом V_2 такой же газ при давлении p_2 и температуре T_2. Какое давление и температура установятся в сосудах при их соединении? Теплообменом с окружающей средой и стенками сосудов пренебречь.

9.186. Приближенно воздух можно считать смесью азота (η_1 = 80% по массе), кислорода (η_2 = 16%) и углекислого газа (η_3 = 4%). Найти эффективную молярную массу M воздуха, т. е. молярную массу такого газа, который при одинаковых параметрах со смесью будет иметь ту же массу.

9.187. В сосуде при давлении $p = 10^5$ Па и температуре t = 27 °C находится смесь азота, кислорода и гелия, массы которых равны. Найти плотность смеси газов.

9.188. За один вдох в легкие человека попадает воздух объемом V = 0,5 л. Сколько молекул кислорода содержится в таком объеме воздуха, если доля кислорода в нем составляет η = 20%?

9.189. Плотность газа, состоящего из смеси гелия и аргона, ρ = = 2 кг/м^3 при давлении p = 150 кПа и температуре t = 27 °C. Сколько атомов гелия содержится в газовой смеси объемом V = 1 см^3?

9.190. Сосуд разделен пополам полупроницаемой перегородкой. Объем каждой части V = 1 л. В левую половину введены водород массой m_1 = 2 г и азот массой m_2 = 28 г. Справа от перегородки — вакуум. Какие давления установятся в обеих частях сосуда, если перегородка пропускает только водород, а температура остается постоянной T = 373 К?

9.191. Закрытый сосуд разделен на две равные половины поршнем, который может перемещаться без трения. Давление и температура в обеих половинах одинаковы. В левой части находится чистый газ 1, в правой — смесь газов 1 и 2, причем их парциальные давления равны. В некоторый момент поршень становится проницаемым для газа 2. Во сколько раз η увеличится объем левой части после того, как установится равновесие?

9.192. На гладком столе лежит цилиндрический невесомый сосуд длиной l, разделенный герметичной перегородкой на две равные части, в одной из которых находится под некоторым давлением азот, а в другой — углекислый газ под давлением, вдвое большим. Температура газов одинакова. В некоторый момент перегородка теряет герметичность. На сколько и в каком направлении окажется смещенным сосуд после того, как газы перемешаются?

9.193°. Космический аппарат представляет собой жесткую тонкостенную сферу радиусом $R = 2$ м, наполненную газом. Внутри аппарата находится шар радиусом $r = \frac{R}{2}$, наполненный тем же газом, но при большем давлении. Шар касается внутренней поверхности аппарата. В результате повреждения шар лопнул. Найти, во сколько раз изменилось давление внутри аппарата, если оказалось, что весь аппарат сместился при этом на расстояние $l = 0{,}5$ м. Массой оболочек пренебречь. Температуру считать неизменной.

9.194. Некоторое количество водорода находится при температуре $T_1 = 200$ К и давлении $p_1 = 400$ Па. Газ нагревают до температуры $T_2 = 10^4$ К, при которой молекулы водорода полностью распадаются на атомы. Определить давление газа, если его объем и масса не изменились.

9.195. В сосуде находится озон (O_3) при температуре $t_1 = 527$ °С. Через некоторое время он полностью превращается в кислород (O_2), а температура устанавливается $t_2 = 127$ °С. На сколько процентов изменилось давление в баллоне?

9.196. При комнатной температуре четырехокись азота частично диссоциирует, превращаясь в двуокись: $N_2O_4 \leftrightarrows 2NO_2$. В сосуд, из которого откачан воздух, объемом $V = 250$ см^3 вводится жидкость N_2O_4 массой $m = 0{,}92$ г при температуре $t_1 = 0$ °С. При температуре $t_2 = 27$ °С жидкость целиком испаряется, и давление становится равным $p = 128$ кПа. Определить долю η четырехокиси азота, которая диссоциировала.

9.197. В колбе находится двухатомный газ. Под действием ультрафиолетового излучения распалось на атомы $\alpha = 12\%$ молекул. При этом в колбе установилось давление $p = 93$ кПа. Найти давление газа в недиссоциированном состоянии.

9.198. При температуре $t = 1000$ °С распадается на атомы $\eta = 11{,}6\%$ молекул иода I_2. Какова масса паров иода, находящихся в сосуде объемом $V = 0{,}5$ л, если давление в нем при данной температуре $p = 93$ кПа?

9.199. В закрытом сосуде находится идеальный двухатомный газ. При увеличении температуры в $n = 3$ раза давление газа увеличилось в $k = 3{,}15$ раза. Сколько процентов молекул от их начального количества распалось на атомы?

9.200. В сосуде находится смесь азота и водорода. При температуре T, когда азот полностью диссоциировал на атомы, а диссоциацией водорода еще можно пренебречь, давление в сосуде равно p. При температуре $2T$, когда оба газа полностью диссоциировали, давление в сосуде равно $3p$. Каково отношение числа атомов азота и водорода в смеси?

9.201. Кислород массой $m = 8$ г при температуре $t_0 = 27$ °С занимает объем $V = 200$ л. Определить давление в этом объеме, если газ превращен в полностью ионизированную плазму при температуре $T = 10^6$ К, сравнить его с первоначальным давлением.

Газовые законы в гидростатике

9.202. При какой температуре давление воздуха на дно сосуда высотой $H = 1{,}2$ м будет в $k = 1{,}00005$ раза больше давления на крышку сосуда?

9.203. Со дна реки поднимается воздушный пузырек. У поверхности его объем увеличивается в $\eta = 1{,}5$ раза. Найти глубину реки, считая, что температура воды всюду одинакова. Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па.

9.204. Тонкостенный резиновый шар радиусом $R_1 = 3$ см наполнен воздухом при температуре $t_1 = 27$ °С и нормальном атмосферном давлении. Каким станет радиус шара, если его опустить в воду при температуре $t_2 = 7$ °С на глубину $h = 30$ м? Силы упругости, возникающие в резине, не учитывать.

9.205. На дне сосуда, заполненного воздухом, лежит полый стальной шарик радиусом $r = 2$ см и массой $m = 5$ г. До какого давления нужно сжать воздух в сосуде, чтобы шарик поднялся вверх? Температура постоянна, $t = 20$ °С.

9.206. Тонкостенный резиновый шар массой $m_1 = 50$ г наполнен азотом и погружен в озеро на глубину $h = 100$ м. Найти массу азота, если шар находится на этой глубине в положении равновесия. Атмосферное давление $p_0 = 760$ мм рт. ст. Температура на глубине озера $t = 4$ °С. Силы упругости, возникающие в резине, не учитывать.

9.207. Полый стальной куб со стороной $a = 1$ м заполнен воздухом при нормальных условиях и запаян. Куб плавает в воде так, что его нижняя грань расположена горизонтально. Толщина стенки куба $b = 4$ мм. Вычислить давление воды на нижнюю грань куба.

9.208. Атмосфера Венеры почти полностью состоит из углекислого газа. Температура у поверхности планеты около $t = 500$ °С, а давление около $p = 100$ атм. Какой объем должен иметь исследовательский зонд массой $m = 1$ т, чтобы плавать в нижних слоях атмосферы Венеры?

9.209*. Шар сделан из прочной нерастяжимой воздухонепроницаемой оболочки. Объем оболочки $V = 83{,}1$ м^3, масса шара $m = 5$ кг. На какую высоту сможет подняться шар? Давление у поверхности Земли $p_0 = 10^5$ Па. Оно уменьшается вдвое при подъеме на каждые $h_0 = 5$ км высоты. Температуру воздуха в верхних слоях атмосферы принять $t = 73$ °С.

9.210. Полый шар с жесткой оболочкой, масса которой $m = 10$ г, наполнен водородом. Объем водорода $V = 10$ л. Температура водорода и окружающего шар воздуха $t = 0$ °С. Найти давление водорода в шаре, если подъемная сила шара равна нулю. Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па.

9.211. В воздушном шаре весь наполняющий его водород заменили гелием. Во сколько раз изменилась подъемная сила шара? Весом оболочки шара пренебречь.

9.212. Воздушный шар объемом V заполнен подогретым воздухом (молярная масса воздуха M). Температура окружающего воздуха T, давление p. Температура внутри шара T_1. Найти подъемную силу. (Излишек воздуха может свободно выходить из отверстия внизу шара, через которое осуществляется подогрев, массой оболочки шара пренебречь.)

9.213. При каком наименьшем радиусе станет подниматься воздушный шар, наполненный гелием, если поверхностная плотность материала оболочки $\sigma = 50$ г/м^2, давление воздуха $p = 10^5$ Па, а температура $t = 27$ °С?

9.214. Оболочка стратостата открыта снизу и заполнена частично водородом и частично воздухом. Масса водорода m. Какова подъемная сила стратостата? Массой оболочки пренебречь.

9.215. Пробирка, расположенная горизонтально, заполнена ртутью так, что между дном пробирки и ртутью имеется пузырек воздуха. Когда пробирка ставится вертикально открытым концом вверх, объем пузырька уменьшается втрое. Чему равно атмосферное давление, если известно, что диаметр пробирки $d = 1$ мм и содержит она $m = 16$ г ртути?

9.216. Посередине запаянной с обоих концов горизонтальной трубки находится столбик ртути длиной h = 10 см. В обеих половинах трубки находится воздух под давлением p_0 = 760 мм рт. ст. Длина трубки l = 1 м. На какое расстояние сместится столбик ртути, если трубку поставить вертикально?

9.217. В стеклянной трубке находится воздух, закрытый столбиком ртути длиной l_1 = 8 см. Если держать трубку открытым концом вверх, то длина воздушного столбика l_2 = 4 см. Если держать трубку открытым концом вниз, то длина воздушного столбика h = 5 см. Определить атмосферное давление.

9.218. На какую глубину в жидкость плотностью ρ надо погрузить открытую трубку длиной l, чтобы, закрыв верхнее отверстие, вынуть столбик жидкости высотой $\frac{l}{2}$? Атмосферное давление p.

9.219. Открытую с обеих сторон узкую трубку погружают в ртуть так, что над ртутью выступает конец длиной l_1 = 8 см. Трубку закрывают и поднимают еще на расстояние l_2 = 44 см. Какую часть трубки при этом занимает воздух? Атмосферное давление p_0 = 760 мм рт. ст.

9.220. Узкую цилиндрическую трубку, запаянную с одного конца, длиной l = 45 см погружают открытым концом в сосуд с ртутью на глубину H = 40 см. Атмосферное давление p_0 = 76 см рт. ст. Какова будет высота столбика ртути в трубке?

9.221. Вертикальная барометрическая трубка опущена в широкий сосуд с ртутью. Столб ртути в трубке над поверхностью ртути имеет высоту h_0 = 40 мм, а столб воздуха над ртутью h_1 = 190 мм. На какое расстояние надо опустить трубку, чтобы уровень ртути в трубке сравнялся с уровнем ртути в сосуде? Атмосферное давление p_0 = 760 мм рт. ст.

9.222. Трубку длиной b = 76 см, запаянную с одного конца, погружают в вертикальном положении открытым концом в сосуд с ртутью. На каком расстоянии от поверхности ртути должен находится запаянный конец трубки, чтобы уровень ртути в ней был ниже уровня в сосуде на расстояние h = 7,6 см? Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па.

9.223. В пространство над ртутным столбиком в трубке барометра попало немного воздуха. Когда барометр показывал давление p_1 = = 748 мм рт. ст., длина части трубки, занятой воздухом, была l = 60 мм. Трубку выдвинули из сосуда с ртутью еще на расстояние Δh = 21 мм, после чего барометр стал показывать давление p_2 = 751 мм рт. ст. Считая температуру постоянной, определить атмосферное давление p_0.

9.224. В мензурке высотой $h = 0,4$ м и сечением $S = 12$ см^2, закрытой тонким невесомым поршнем, находится газ, молярная масса которого $M = 0,029$ кг/моль. Поршень опускают и освободившуюся часть мензурки до краев заливают ртутью. При каких значениях температуры газа можно найти такое положение поршня, при котором поршень будет находиться в равновесии (т. е. ртуть, налитая в мензурку, не будет выбрасываться давлением газа)? Масса газа в мензурке $m_1 = 0,07$ г, внешним атмосферным давлением пренебречь.

9.225. Стеклянная трубка, запаянная с одного конца, расположена горизонтально. В трубке находится воздух, отделенный от атмосферы столбиком ртути длиной l. Длина трубки $2l$, длина столбика воздуха $\frac{l}{2}$, атмосферное давление p_0. На какое расстояние h сместится ртуть в трубке, если ее вращать вокруг вертикальной оси, проходящей через открытый конец, с угловой скоростью $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$ (g — ускорение свободного падения).

9.226. Опрокинутый стакан высотой $H = 10$ см погружается в воду так, что дно стакана оказывается вровень с уровнем жидкости (рис. 9.23). На каком уровне h установится жидкость в стакане, если давление воздуха на поверхность воды $p_0 = 0,1$ атм?

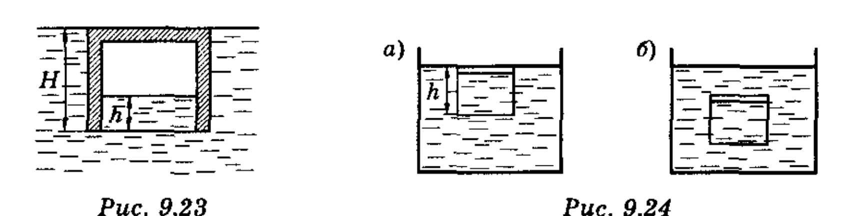


Рис. 9.23 Рис. 9.24

9.227. Стакан высотой $h = 9$ см, наполненный на $\frac{2}{3}$ водой, плавает в воде так, что его края находятся на уровне ее поверхности (рис. 9.24, *а*). Этот же стакан с воздухом, нагретым до температуры $t_1 = 87$ °С, погружают в воду вверх дном (рис. 9,24, *б*), при этом стакан и воздух в нем охлаждаются до температуры воды, равной $t_2 = 27$ °С. На какую глубину H надо погрузить стакан, чтобы он не всплывал и не тонул? Атмосферное давление $p_0 = 0,1$ МПа. Давлением насыщенных паров в стакане пренебречь.

9.228. К стеклянному баллону объемом $V = 25$ л припаяна трубка длиной $l = 1$ м и сечением $S = 2$ см^2 (рис. 9.25). Своим концом стеклянная

трубка соприкасается с поверхностью ртути. Сколько воздуха выйдет из трубки, если баллон нагреть от температуры t_0 = 0 °C до температуры t_1 = 100 °C? На какую высоту поднимется ртуть в трубке, если баллон снова охладить до 0 °C? Первоначальное давление в трубке равно атмосферному $p_0 = 10^5$ Па.

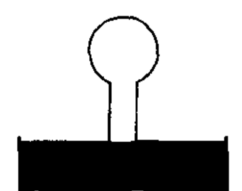
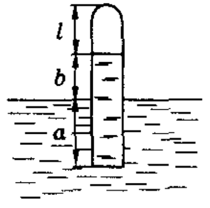


Рис. 9.25

9.229. В пробирке (рис. 9.26) находится идеальный газ при температуре T_1 = 300 К. При нагревании до температуры T_2 = 500 К, газ расширяется и выходит из пробирки в количестве Δm = 4 г. Плотность жидкости $\rho = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3, атмосферное давление p_0 = 0,1 МПа. Найти первоначальную массу газа в пробирке, если: a = 10 см, b = 5 см, l = 75 см. Давлением насыщенных паров жидкости пренебречь.



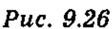


Рис. 9.26

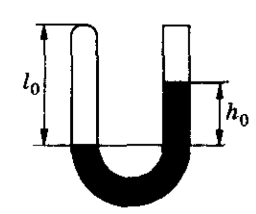


Рис. 9.27

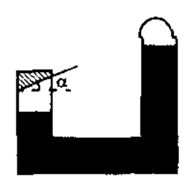


Рис. 9.28

9.230. В U-образной трубке (рис. 9.27) высота столба воздуха l_0 = = 300 мм, а высота столба ртути h_0 = 110 мм. В правое колено долили столько ртути, что ее уровень поднялся на расстояние Δh = 40 мм. На сколько изменился уровень в левом колене? Атмосферное давление p_0 = 760 мм рт. ст.

9.231°. Когда в изображенном на рисунке 9.28 сосуде левое колено закрыли подвижным поршнем со скошенной нижней поверхностью, ртуть в правом колене поднялась, и давление над ней стало p. На сколько уровень ртути в правом колене стал выше уровня ртути в левом колене? Масса поршня m, атмосферное давление p_0, площадь скошенной поверхности поршня S, угол наклона к горизонту α. Плотность ртути ρ.

9.232°. В трубке находится ртуть (рис. 9.29). Высота столбика воздуха над ртутью в закрытом колене h_1 = = 20 см, а давление p = 76 см рт. ст. Пользуясь краном, часть ртути выливают. На сколько понизится уровень ртути в закрытом колене, если в открытом колене он понизился на высоту Δh_1 = 60 см?

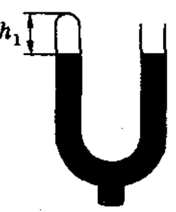
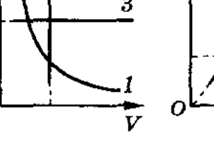
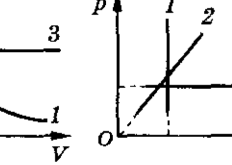
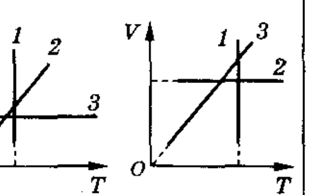


Рис. 9.29

Молекулярная физика и термодинамика

Таблица 9

Формулы	Обозначения	Единицы измерения
1. Молекулярно-кинетическая теория $\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}$; $M = m_0 N_A$	ν — количество вещества N — число молекул N_A — постоянная Авогадро m — масса M — молярная масса m_0 — масса молекулы	1 моль $6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$ 1 кг 1 кг/моль 1 а.е.м. = $= 1{,}67 \cdot 10^{27}$ кг
Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы $\bar{E} = \frac{3}{2}kT$	E — энергия k — постоянная Больцмана T — абсолютная температура	1 Дж $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К 1 К $T = 273 + t$ °C
Среднеквадратичная скорость молекулы $\bar{v}_{кв} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$	$\bar{v}$ — среднеквадратичная скорость p — давление газа	1 м/с 1 Па 1 мм рт. ст. ≈ ≈ 133 Па 1 атм ≈ ≈ $1{,}03 \cdot 10^5$ Па
Основное уравнение МКТ $p = \frac{2}{3}n\bar{E}$; $p = nkT$; $p = \frac{1}{3}\rho v^2$	ρ — плотность газа n — концентрация молекул	1 кг/м^3 1 м$^{-3}$

2. Идеальный газ Уравнение Менделеева—Клапейрона $pV = \frac{m}{M}RT$	V — объем газа R — универсальная газовая постоянная	1 м^3 8,31 Дж/моль · К
Изопроцессы 1) $m = \text{const}$; $T = \text{const}$; $pV = \text{const}$; 2) $m = \text{const}$; $V = \text{const}$; $\frac{p}{T} = \text{const}$; 3) $m = \text{const}$; $p = \text{const}$; $\frac{V}{T} = \text{const}$	  	
Закон Дальтона $p = p_1 + p_2 + \ldots + p_n$	p_i — парциальное давление n — число компонент смеси	1 Па
Нормальные условия $p_0 = 10^5$ Па; $T_0 = 273$ °К; $V_0 = 22,4$ л	p_0 — нормальное давление T_0 — температура при нормальных условиях V_0 — стандартный объем	

10. Термодинамика

Внутренняя энергия

10.1. Плотно закрытую пробирку с воздухом погрузили в горячую воду. Изменилась ли кинетическая и потенциальная энергия молекул воздуха в пробирке?

10.2. В одном стакане находится горячая вода, в другом — холодная. В каком случае вода обладает большей внутренней энергией?

10.3. В сосуде нагрели воду. Можно ли сказать, что внутренняя энергия воды увеличилась? что вода получила некоторое количество теплоты?

10.4. Привести примеры изменения внутренней энергии при: а) сжатии; б) ударе; в) трении.

10.5. Спичка воспламеняется при трении ее головки о коробок. Объяснить это явление.

10.6. Почему происходит изменение внутренней энергии при: а) сжатии и растяжении пружины; б) таянии льда; в) сжатии и расширении воздуха; г) нагревании жидких и твердых тел?

10.7. Объяснить возрастание скорости диффузии с повышением температуры.

Виды теплопередачи

10.8. В металлическую и фарфоровую кружки налили горячий чай. Какая из кружек быстрее нагреется? Каким способом осуществляется теплообмен между чаем и стенками кружек? Как изменится внутренняя энергия чая, кружек?

10.9. Почему зимой на улице металл на ощупь кажется холоднее дерева? Каким будет казаться на ощупь металл и дерево в сорокаградусную жару? Почему?

10.10. В комнату внесли три одинаковых куска льда. Один положили в фарфоровую тарелку, второй — на достаточно большой металлический противень, а третий окутали ватой. Какой из кусков льда быстрее растает? Какой из кусков льда растает позже всех?

10.11. Почему в безветрие языки пламени свечи устанавливаются вертикально?

10.12. Почему радиаторы центрального отопления ставят обычно под окнами?

10.13. Сильная струя воздуха, идущая от вентилятора, создает прохладу. Можно ли при помощи этой струи сохранить мороженое в твердом виде?

10.14. Возможна ли передача теплоты конвекционными потоками в жидкостях и газах в космическом корабле, который движется вдали от космических тел: а) с отключенными двигателями; б) с работающими двигателями?

10.15. Почему грязный снег в солнечную погоду тает быстрее, чем чистый?

10.16. Почему вода в открытых водоемах нагревается солнечными лучами медленнее, чем суша?

Измерение количества теплоты

10.17. Что потребует больших затрат энергии для нагревания на 1 °С: стакан воды или ведро воды?

10.18. Алюминиевую и серебряную ложки одинаковой массы опустили в кипяток. Одинаковое ли количество теплоты они получат от воды?

10.19. Кубики, изготовленные из алюминия и серебра, массой $m = 1$ кг каждый, охлаждают на $\Delta t = 1$ °С. На сколько изменится внутренняя энергия каждого кубика?

10.20. По куску свинца и по куску стали, массы которых равны, ударили молотком одинаковое число раз. Какой кусок больше нагреется?

10.21. Нагретый камень массой $m = 5$ кг, охлаждаясь в воде на $\Delta t = 1$ °С, передает ей $Q = 2{,}1$ кДж тепла. Чему равна теплоемкость камня? удельная теплоемкость?

10.22. Кусок льда массой $m = 0{,}8$ кг нагревают от $t_1 = -20$ °С до $t_2 = 0$ °С. При этом затрачено количество теплоты $Q = 33{,}6$ кДж. Определить теплоемкость куска льда в этом процессе и удельную теплоемкость льда, если плавления не происходит.

10.23. Сколько энергии пошло на нагревание от $t_1 = 20$ °С до $t_2 = 920$ °С железной заклепки, масса которой $m = 110$ г?

10.24. Какое количество теплоты пойдет на нагревание воды от $t_1 = 15$ °С до $t_2 = 25$ °С в бассейне, длина которого $l = 100$ м, ширина $b = 6$ м и глубина $h = 2$ м?

10.25. На сколько градусов нагреется вода объемом $V = 2$ л, если ей сообщить количество теплоты $Q = 100$ Дж?

10.26. При охлаждении куска олова массой $m = 100$ г до температуры $t_2 = 32$ °С выделилось $Q = 5$ кДж теплоты. Какой была температура олова до охлаждения?

10.27. На нагревание кирпича массой $m_1 = 4$ кг на $\Delta t = 63$ °С затрачено такое же количество теплоты, как и для нагревания $m_2 = 4$ кг воды на $\Delta t_2 = 13{,}2$ °С. Чему равна удельная теплоемкость кирпича?

10.28. Воду массой $m = 2$ кг нагревают от $t_0 = 0$ °С до $t = 100$ °С. Построить график зависимости температуры воды от полученного количества теплоты.

10.29. Температура некоторой массы воды повышается на $\Delta t = 1$ °С. На сколько увеличивается энергия одной молекулы воды?

10.30. На сколько градусов нагреется кусок свинца, если он упадет с высоты $h = 26$ м на плиту? Считать, что вся кинетическая энергия свинца переходит во внутреннюю энергию.

10.31. С какой высоты должна упасть капля воды, чтобы при ударе о землю она нагрелась на 1 °С? Сопротивлением воздуха пренебречь.

10.32. На какую высоту можно было бы поднять груз массой $m = 2$ т, если бы удалось полностью использовать энергию, освободившуюся при остывании стакана воды от температуры $t_1 = 100$ °С до $t_2 = 20$ °С? Объем стакана $V = 250$ см^3.

10.33. Пластилиновый шар бросают со скоростью $v_0 = 10$ м/с под углом $\alpha = 60°$ к горизонту в стену, расположенную на расстоянии $l = 6{,}3$ м от точки бросания. Шар прилипает к стене. Считая, что вся кинетическая энергия пошла на его нагревание, найти изменение температуры шара. Удельная теплоемкость пластилина $c = 2{,}5 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К).

10.34. Паровой молот массой $M = 10$ т падает с высоты $h = 2{,}5$ м на железную болванку массой $m = 200$ кг. Сколько раз он должен упасть, чтобы температура болванки поднялась на $\Delta t = 40$ °С? На нагревание болванки идет 60% энергии, выделенной при ударах.

10.35. Лампа накаливания, расходующая $P = 54$ Вт, погружена в прозрачный калориметр, содержащий $V = 650$ см^3 воды. За $t = 3$ мин вода нагрелась на $\Delta t = 3{,}4$ °С. Какая часть η расходуемой лампочкой энергии пропускается калориметром наружу?

10.36. Энергетическая установка мощностью $N = 50$ кВт охлаждается проточной водой, протекающей по спиральной трубке, диаметр которой $d = 15$ мм. При установившемся режиме вода нагревается на $\Delta t = 15$ °С. Определить скорость прокачки воды в охладительной системе, если известно, что на нагревание идет $\eta = 60\%$ энергии установки.

Плавление и отвердевание

10.37. Почему не изменяется температура кристаллических тел при плавлении или отвердевании?

10.38. Можно ли указать температуру плавления для аморфных тел, таких, например, как пластилин?

10.39. Выполняется ли закон сохранения энергии при плавлении и отвердевании веществ?

10.40. На сколько увеличится внутренняя энергия куска меди, масса которого $m = 1$ кг, при плавлении?

10.41. Во сколько раз больше энергии требуется для плавления льда при температуре 0 °C, чем для нагревания льда той же массы на $\Delta t = 1$ °C?

10.42. Какое количество льда, взятого при температуре плавления, можно растопить, затратив энергию $W = 340$ Дж?

10.43. Сколько теплоты уходит на приготовление воды из льда, масса которого $m = 10$ кг? Лед взят при температуре $t_1 = -20$ °C, а температура воды должна быть $t_2 = 15$ °C.

10.44. Небольшая льдинка, находящаяся при температуре 0 °C, полностью расплавилась при неупругом ударе о преграду. Известно, что для плавления льда массой $m = 1$ кг при температуре $t = 0$ °C необходимо затратить количество теплоты $Q = 366$ кДж. Определить долю энергии η, идущую на нагревание преграды, если скорость льдинки при подлете к ней была $v = 2$ км/с.

10.45. С какой минимальной скоростью v должны лететь навстречу друг другу две одинаковые льдинки, чтобы при ударе полностью расплавиться? Температура каждой льдинки перед ударом $t = -10$ °C.

10.46. Какое количество теплоты отводит холодильник ежесекундно, если в нем за $\tau = 2$ ч замерзает $m = 7{,}2$ кг воды. Начальная температура воды $t_0 = 20$ °C. Конечная температура льда $t_1 = -10$ °C.

10.47. В герметически закрытом сосуде в воде плавает кусок льда массой $m_л = 0{,}1$ кг, в который вмерзла дробинка массой $m_д = 5$ кг. Какое количество тепла надо затратить, чтобы кусок льда с дробинкой начал тонуть? Температура воды в сосуде равна 0 °C.

10.48. Сосуд, в котором находится вода массой $m_1 = 100$ г при температуре $t_1 = 0$ °C, внесли в комнату. Через время $\tau_1 = 15$ мин температура воды поднялась до $t_2 = 2$ °C. Когда же в сосуде при той же температуре

находилось $m_2 = 100$ г льда, то он растаял за время $\tau_2 = 10$ ч. Определить удельную теплоту плавления льда. Теплоемкость воды считать известной.

10.49. Тигель с оловом нагревают таким образом, что количество теплоты, ежесекундно подводимое к тигелю, постоянно. За время $\tau_1 = 5$ мин температура олова поднялась от $t_1 = 10$ °C до $t_2 = 50$ °C. Какое время необходимо, чтобы нагреть олово от $t_2 = 50°$ до $t_{пл} = 232$ °C и полностью его расплавить?

10.50. Для нахождения удельной теплоемкости воды определяли время, необходимое на образование льда в комнатном холодильнике. В одном из опытов получили, что для охлаждения воды, взятой при температуре $t_1 = 4$ °C, до температуры $t_2 = 0$ °C потребовалось $\tau_1 = 5$ мин. Еще $\tau_2 = 107{,}5$ мин потребовалось для превращения охлажденной воды в лед с температурой $t_3 = -12$ °C. Считая теплоотвод холодильника постоянным, найти удельную теплоемкость воды.

Испарение и кипение

10.51. Почему температура воды в открытом ведре всегда немного ниже температуры воздуха в комнате?

10.52. Почему охлаждается жидкость при испарении?

10.53. В Москве температура кипения воды в открытом сосуде колеблется от 98,5 °C до 101 °C. Чем это можно объяснить?

10.54. Выполняется ли закон сохранения энергии при парообразовании и конденсации пара?

10.55. Что обладает большей внутренней энергией: вода при температуре кипения или пар той же массы при той же температуре?

10.56. Какое количество теплоты выделяется при конденсации водяного пара массой $m = 2{,}5$ кг, взятого при температуре кипения?

10.57. Какое количество теплоты необходимо для нагревания воды, масса которой $m_1 = 10$ кг, от $t_1 = 5$ °C до $t_2 = 100$ °C и превращения в пар ее части $m_2 = 0{,}4$ кг?

10.58. Какую массу воды, находящейся при температуре $t = 30$ °C, можно испарить, затратив энергию $Q = 10^2$ Дж?

10.59. С какой минимальной скоростью влетает метеорит в атмосферу Земли, если при этом он нагревается, плавится и превращается в пар? Метеоритное вещество состоит из железа. Начальная температура

метеорита $t = 3$ °С. Предполагается, что в тепло превращается только $\eta = 80\%$ механической энергии.

10.60. Двухлитровый алюминиевый чайник налили доверху водой при температуре $t = 20$ °С и поставили на электроплитку с КПД $\eta = 30\%$. Мощность плитки $N = 5$ кВт, масса чайника $M = 500$ г. Через какое время масса воды в чайнике уменьшится на $\Delta m = 100$ г?

10.61. В алюминиевой кастрюле массой $m = 0,2$ кг находится вода объемом $V = 0,5$ л и лед массой $m_л = 200$ г при 0 °С. Кастрюлю нагревают на электроплитке мощностью $N = 600$ Вт в течение $\tau = 30$ мин. Сколько выкипело воды, если КПД плитки $\eta = 50\%$?

10.62°. Сосуд Дьюара содержит $V = 1$ л жидкого азота при температуре $t_1 = -195$ °С. Известно, что за сутки ($\Delta\tau_1$) испарилась половина взятого количества азота. Если в том же сосуде находится лед при температуре $t_2 = 0$ °С, то в течение $\Delta\tau_2 = 22,5$ ч растает $m_2 = 20$ г льда. Температура окружающей среды постоянна $t = 20$ °С. Определить количество теплоты, необходимое для испарения 1 кг азота, если известно, что скорость подвода тепла извне пропорциональна разности температур снаружи и внутри сосуда. Плотность жидкого азота $\rho = 800$ кг/м^3.

Теплота сгорания топлива

10.63. Какое количество теплоты выделится при полном сгорании пороха массой $m_1 = 25$ г, каменного угля массой $m_2 = 1,5$ т?

10.64. При полном сгорании тротила массой $m = 10$ кг выделяется количество теплоты $Q = 1,5 \cdot 10^8$ Дж. Чему равна удельная теплота сгорания тротила?

10.65. На сколько больше теплоты выделится при полном сгорании бензина массой $m = 2$ кг, чем при полном сгорании сухих березовых дров той же массы?

10.66. Во сколько раз больше выделится теплоты при полном сгорании бензина, чем при полном сгорании торфа той же массы?

10.67. Какую массу каменного угля нужно сжечь, чтобы выделилось столько энергии, как и при сгорании бензина, объем которого $V = 6$ л?

10.68. На сколько градусов можно нагреть воду массой $m_1 = 11$ кг при сжигании керосина массой $m_2 = 20$ г, если считать, что теплота, выделившаяся при сгорании, целиком пошла на нагревание воды?

10.69. При нагревании на спиртовке $m_1 = 224$ г воды от $t_1 = 15$ °С до $t_2 = 75$ °С сожгли $m_2 = 5$ г спирта. Определить КПД спиртовки.

10.70. Самолет израсходовал $m = 5$ т бензина за $t = 8$ ч полета. Определить мощность двигателей самолета, если их КПД $\eta = 40\%$.

10.71. Определить коэффициент полезного действия плавильной печи, в которой для нагревания $m_1 = 0{,}5$ т алюминия от $T_1 = 282$ К до температуры плавления $T_2 = 932$ К было израсходовано $m_2 = 70$ кг каменного угля.

10.72. На реактивном лайнере установлено 4 двигателя, каждый из которых при полной нагрузке развивает силу тяги $F = 40$ кН. Оценить количество топлива, необходимое лайнеру для преодоления расстояния $s = 10^4$ км, если удельная теплота сгорания топлива $q = 40$ МДж/кг, а КПД двигателя $\eta = 40\%$.

10.73. Двигатель мотороллера «Вятка» развивает мощность $N = 3{,}31$ кВт при скорости $\upsilon = 58$ км/ч. Какой путь пройдет мотороллер, если у него в бензобаке $V = 3{,}2$ л бензина? Коэффициент полезного действия двигателя $\eta = 20\%$.

10.74. Какое количество природного газа надо сжечь, чтобы $m_л = 4$ кг льда при $t_1 = -10$ °С обратить в пар с температурой $t_2 = 100$ °С? Построить график зависимости $Q = f(t)$, учитывая процессы плавления и парообразования. КПД нагревателя $\eta = 60\%$.

10.75. Газовая нагревательная колонка потребляет $V_0 = 1{,}8$ м^3 метана в час. Найти температуру воды, подогреваемой этой колонкой, если вытекающая струя имеет скорость $\upsilon = 0{,}5$ м/с. Диаметр струи $d = 1$ см, начальная температура воды и газа $t_0 = 11$ °С. Газ в трубе находится под давлением $P = 1{,}2$ атм. КПД нагревателя $\eta = 60\%$.

Уравнение теплового баланса

10.76. В паровой котел, содержащий воду массой $m_1 = 50$ т при температуре $t_1 = 240$ °С, с помощью насоса добавили $m_2 = 3$ т воды при температуре $t_2 = 10$ °С. Какая установится температура смеси? Теплоемкостью котла пренебречь.

10.77. В воду объемом $V = 20$ л, находящуюся при температуре $t_1 = 27$ °С, влили некоторое количество кипятка, в результате чего установилась температура воды $t_2 = 60$ °С. Определить объем добавленного кипятка.

10.78. Сколько нужно килограммов льда, чтобы охладить воду в ванне от $t_1 = 17$ °С до $t_2 = 7$ °С? Объем воды 100 л. Температура льда 0 °С.

10.79. В термос, теплоемкостью которого можно пренебречь, налито $m_1 = 0{,}1$ кг воды при температуре $t_1 = 7$ °С. После того как в воду опустили предмет массой $m_2 = 41{,}9$ г и с температурой $t_2 = 127$ °С, в термосе установилась температура $t = 27$ °С. Определить удельную теплоемкость материала, из которого сделан предмет.

10.80. Два одинаковых сосуда содержат воду: один — $m_1 = 0{,}1$ кг при $t_1 = 45$ °С, другой — $m_2 = 0{,}5$ кг при $t_2 = 24$ °С. В сосуды наливают одинаковое количество ртути. После установления теплового равновесия в обоих сосудах температура воды оказалась одна и та же и равна $t = 17$ °С. Найти теплоемкость C_0 сосудов.

10.81. В медный сосуд, нагретый до температуры $t_1 = 350$ °С, положили $m_2 = 600$ г льда при температуре $t_2 = -10$ °С. В результате в сосуде оказалось $m_3 = 550$ г льда, смешанного с водой. Определить массу сосуда m_1.

10.82. Латунный калориметр массой $m_1 = 0{,}1$ кг, содержащий $m_2 = 0{,}2$ кг воды при температуре $t_1 = 7$°С, опускают предмет массой $m_3 = 0{,}1$ кг и температурой $t_2 = 127$ °С. После чего в калориметре устанавливается температура $t_0 = 27$ °С. Определить удельную теплоемкость материала, из которого изготовлен предмет.

10.83. Для измерения температуры воды, имеющей массу $m_1 = 66$ г, в нее погрузили термометр, который показал $t_1 = 32{,}4$ °С. Какова была температура воды перед измерением t_0, если теплоемкость термометра $C = 1{,}9$ Дж/К и перед погружением в воду он показывал температуру помещения $t_2 = 17{,}8$ °С?

10.84. В алюминиевом калориметре массой $m = 500$ г находится $m_1 = 250$ г воды при температуре $t_1 = 19$ °С. Если в калориметр опустить металлический цилиндр массой $m_2 = 180$ г, состоящий из двух частей — алюминиевой и медной, то температура воды поднимается до $t = 27$ °С. Определить массу алюминия и меди в цилиндре, если его первоначальная температура $t_2 = 127$ °С.

10.85. В медный теплоизолированный сосуд налита вода, в которую опустили горячий брусок из константана (сплав меди и никеля). После того как брусок остыл, выяснилось, что изменение температуры сосуда с водой в $n = 11$ раз меньше изменения температуры бруска. Массы сосуда, воды и бруска одинаковы. Найти процентное содержание меди и никеля в константане.

10.86. Имеются два теплоизолированных сосуда. В первом из них находится $V_1 = 5$ л воды при температуре $t_1 = 60$ °С, во втором $V_2 = 1$ л

воды при температуре $t_2 = 20$ °С. Часть воды перелили из первого сосуда во второй. После установления теплового равновесия во втором сосуде из него в первый сосуд отлили столько воды, чтобы ее объемы в сосудах стали равны первоначальным. После этих операций температура воды в первом сосуде стала $t_3 = 59$ °С. Сколько воды переливали из первого сосуда во второй и обратно?

10.87. В куске льда, температура которого $t_1 = 0$ °С, сделано углубление объемом $V = 160$ см^3. В это углубление налили $m_в = 60$ г воды, температура которой $t_2 = 75$ °С. Какой объем будет иметь свободное от воды углубление, когда вода остынет?

10.88. Во льду сделана лунка объемом $V = 100$ см^3. В эту лунку налили $m = 1$ кг расплавленного свинца при температуре плавления $t_1 = 327$ °С. Найти объем лунки, свободной от воды и свинца, после установления теплового равновесия. Температура льда 0 °С.

10.89°. Два одинаковых калориметра высотой $h = 75$ см заполнены на $\frac{1}{3}$. Первый — льдом, образовавшимся в результате замерзания налитой в него воды, второй — водой при температуре $t_в = 10$ °С. Воду из второго калориметра переливают в первый, в результате чего он оказывается заполненным на $\frac{2}{3}$. После того как температура в первом калориметре установилась, уровень заполнения его увеличился на $\Delta h = 0{,}5$ см. Найти начальную температуру льда в первом калориметре.

10.90. В калориметр, содержащий 100 г льда при 0 °С, впущено 100 г пара при температуре 100 °С. Какая температура установится в калориметре? Какова масса полученной воды?

10.91. Теплоизолированный сосуд содержит смесь, состоящую из льда и воды массой $m_1 = 2$ кг и $m_2 = 10$ кг соответственно при общей температуре $t_1 = 0$ °С. В сосуд подают водяной пар при температуре $t_2 = 100$ °С. Какая масса воды окажется в сосуде в тот момент, когда ее температура будет $t_3 = 80$ °С?

10.92. В калориметр налито $m_1 = 2$ кг воды, имеющей температуру $t_1 = 5$ °С, и положен кусок льда массой $m_2 = 5$ кг, имеющий температуру $t_2 = -40$ °С. Определить температуру и объем содержимого калориметра после установления теплового равновесия. Теплоемкостью калориметра и теплообменом с внешней средой пренебречь.

10.93. В теплоизолированном сосуде находится вода при $t = 0$ °С. Из сосуда откачивают воздух, в результате чего вода замерзает за счет

охлаждения ее при испарении. Определить, какая часть воды при этом испарится, если известно, что удельная теплота парообразования при $t = 0$ °С $r = 2{,}5 \cdot 10^6$ Дж/кг.

10.94. В теплоизолированном сосуде имеются две жидкости с удельными теплоемкостями c_1 и c_2, разделенные теплоизолирующей перегородкой. Температуры жидкостей различны. Перегородку убирают, и после установления теплового равновесия разность между начальной температурой одной из жидкостей и установившейся в сосуде температурой оказывается в два раза меньше разности начальных температур жидкостей. Найти отношение масс первой и второй жидкостей.

10.95. Чистую воду можно охладить до температуры $t = -10$ °С. Какая часть воды превратится в лед, если начнется кристаллизация? (Теплообмен происходит лишь между водой и льдом.)

10.96°. Лед массой $m = 100$ г при температуре 0 °С заключен в теплоизолирующую оболочку и подвергнут сжатию до давления $p = 240$ атм. Найти массу растаявшей части льда, если понижение температуры плавления происходит прямо пропорционально давлению и при увеличении давления на $\Delta p = 138$ атм температура плавления понижается на 1 °С.

Тепловое расширение тел

10.97. В центре диска сделано маленькое отверстие. Изменится ли диаметр этого отверстия, если диск перенести из холодного помещения в теплое?

10.98. Из медного листа вырезали пластинку (рис. 10.1). Изменится ли угол α, если пластинку охладить?

10.99. На диске, вырезанном из медной пластинки, начертили отрезок прямой (рис. 10.2). Останется ли он прямым, если диск нагреть?

10.100. На медном диске начертили окружность (рис. 10.3). Останется ли она правильной окружностью, если диск нагреть?

10.101. Стальную полоску согнули так, как показано на рисунке 10.4. Изменится ли расстояние AB, если пластинку нагреть?

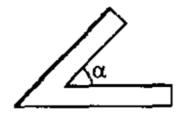




Рис. 10.1

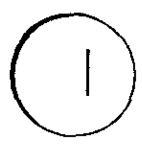


Рис. 10.2

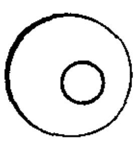


Рис. 10.3

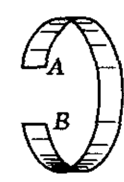


Рис. 10.4

10.102. У литых чугунных колес вагонов спицы делают не прямыми, а изогнутыми. Почему?

10.103. Как отразилось бы на показаниях термометра равенство коэффициентов расширения стекла и ртути?

10.104. Почему платина, впаянная в стекло, не отделяется от стекла при изменении температуры?

10.105. При постройке бетонных дорог между плитами оставляют небольшие зазоры. Для чего это делается?

10.106. Длина медной трубки, образующей змеевик, $l = 12$ м при температуре $t_1 = 20$ °С. Какой будет длина трубки при нагревании ее паром до температуры $t_2 = 120$ °С?

10.107. Длина рельса $l = 12{,}5$ м при температуре $t_0 = 0$ °С. Какой наименьший воздушный зазор следует оставить на стыке рельсов, если температура нагревания рельса может достигать $t = 40$ °С?

10.108. В Киеве через Днепр построен стальной мост им. Патона. При температуре $t_1 = 20$ °С длина моста $l = 1543$ м. Найти изменение длины моста при понижении температуры до $t_2 = -30$ °С.

10.109. Железная труба при температуре $t_1 = 20$ °С имеет длину $l_1 = 10{,}7$ м. На сколько удлинится эта труба, если по ней пропустить пар, нагретый до $t_2 = 420$ °С?

10.110. В центре стального диска имеется отверстие, диаметр которого $d = 4{,}99$ мм при температуре $t_0 = 0$ °С. До какой температуры следует нагреть диск, чтобы в отверстие проходил шарик диаметром $D = 5{,}0$ мм?

10.111. Диаметр колеса тепловоза при температуре $t_0 = 0$ °С составляет $d_0 = 2$ м. Определить, на сколько оборотов меньше колесо сделает летом при температуре $t_1 = 35$ °С, чем зимой при температуре $t_2 = -25$ °С на пути пробега тепловоза $s = 200$ км. Коэффициент линейного расширения металла колеса $\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-5}$ град$^{-1}$.

10.112. Две линейки (одна медная, другая железная) наложены одна на другую так, что с одной стороны их концы совпадают. Определить их длины при 0 °С, зная, что разность их длин составляет l при всякой температуре.

10.113. Железная балка наглухо заделана между двумя стенами при $t_0 = 0$ °С. Какое давление p она будет производить на стены при повышении температуры до $t_1 = 20$ °С, если они будут препятствовать ее удлинению? Модуль упругости E считать равным $2 \cdot 10^7$ Н/см^2.

10.114. Стальная цилиндрическая деталь при обработке на токарном станке нагревается до температуры $t = 80$ °С. Деталь при температуре $t_0 = 10$ °С должна иметь диаметр $d = 5$ мм. Допустимые отклонения от заданного диаметра не должны превышать $\Delta d = 10$ мкм. Следует ли во время обработки вносить поправки на тепловое расширение стали?

10.115. Маятник часов при температуре t_0 имеет длину l_0 и при этом часы идут точно. Коэффициент линейного расширения материала, из которого изготовлен маятник, $\alpha = 1{,}85 \cdot 10^{-5}$ К$^{-1}$. На сколько будут отставать или убегать часы за 1 сутки, если температура в помещении на $\Delta t = 10$ °С выше t_0?

10.116°. Стальная и бронзовая пластинки, толщиной $h = 0{,}2$ мм каждая, склепаны на концах так, что при температуре $T_0 = 273$ К образуют плоскую металлическую пластинку. Каков будет радиус изгиба R этой биметаллической пластинки при температуре $T = 373$ К?

10.117. Определить площадь латунной пластинки при температуре $t_2 = 100$ °С, если при температуре $t_1 = 10$ °С она равна $s_1 = 120$ см^2.

10.118. В бутыль, имеющую при $t_0 = 0$ °С объем $V = 20$ л, налит до краев керосин при той же температуре. На сколько градусов должна повыситься температура, чтобы вытекло $\Delta V = 0{,}5$ л керосина? Расширением бутыли пренебречь.

10.119. Нефть налита в цилиндрическую цистерну, высота которой $h = 6$ м. При температуре $t_0 = 0$ °С нефть не доходит до края цистерны на $\Delta h = 0{,}2$ м. При какой температуре нефть начнет выливаться из цистерны?

10.120. Алюминиевый диск при нагревании увеличил свой объем на $\Delta V = 4{,}6$ см^3. Какое количество теплоты при этом было затрачено, если начальная температура диска 0 °С?

10.121. При наблюдении теплового расширения жидкостей, чтобы исключить влияние изменения объема стеклянного сосуда во время нагревания, часть сосуда заполняется сплавом. Коэффициент объемного расширения сплава $\beta = 8 \cdot 10^{-5}$ К$^{-1}$, стекла — $\beta_0 = 3 \cdot 10^{-5}$ К$^{-1}$. Какая часть объема сосуда η должна быть заполнена сплавом, чтобы тепловое расширение сосуда было полностью скомпенсировано?

10.122. Стальной шарик массой $m = 100$ г опущен на нити в керосин. На сколько изменится сила натяжения нити, если всю систему нагреть от $t_1 = 20$ °С до $t_2 = 50$ °С?

10.123. Стеклянный шарик с коэффициентом объемного расширения β взвешивается в жидкости при температурах t_1 и t_2. Вес вытеснен-

8—1695

ной жидкости равен соответственно P_1 и P_2. Определить коэффициент объемного расширения жидкости β_0.

10.124. Некоторый объем керосина при температуре $t_0 = 0$ °C имеет массу $m_0 = 1,6$ кг. Такой же объем керосина при температуре $t_1 = 60$ °C имеет массу $m_1 = 1,5$ кг. Определить коэффициент объемного расширения керосина.

10.125. Два бруска разного объема из одного и того же материала, имеющие разную температуру, прикладывают друг к другу. Обмен теплотой с окружающими телами отсутствует. Изменятся ли при этом общий объем и общая длина брусков?

10.126. Сообщающиеся сосуды наполнены жидкостью. Температура жидкости в одном из них повышается, в другом остается неизменной. Меняется ли при этом уровень жидкости во втором сосуде?

Внутренняя энергия идеального газа

10.127. Определить внутреннюю энергию одноатомного идеального газа, взятого в количестве $\nu = 10$ молей при температуре $t = 27$ °C.

10.128. Внутренняя энергия идеального одноатомного газа $U = 15$ кДж при температуре $t = 27$ °C. Определить количество молей данного газа.

10.129. В баллоне находится $m = 5$ кг аргона при температуре $T = 300$ К. Чему равна внутренняя энергия газа?

10.130. Какова температура идеального одноатомного газа, взятого в количестве $\nu = 10$ молей, если известно, что внутренняя его энергия $U = 74,79$ кДж?

10.131. В вертикальном цилиндрическом сосуде площадью поперечного сечения S на высоте h от основания находится поршень массой m. Под поршнем находится одноатомный газ. Атмосферное давление p_0. Пренебрегая трением, определить внутреннюю энергию газа под поршнем.

10.132. Одноатомный идеальный газ находится в баллоне объемом $V = 10$ л при давлении $p = 10^5$ Па. Чему равна внутренняя энергия газа?

10.133. Каково давление идеального одноатомного газа, занимающего объем $V = 2$ л, если его внутренняя энергия $U = 300$ Дж?

10.134. Одноатомный идеальный газ изотермически расширился из состояния с давлением $p_1 = 10^6$ Па и объемом $V_1 = 1$ л до вдвое большего объема. Найти внутреннюю энергию газа в конечном состоянии.

10.135. Определить изменение внутренней энергии идеального одноатомного газа, взятого в количестве $\nu = 1$ моль, при нагревании газа от $t_1 = 27$ °C до $t_2 = 127$ °C.

10.136. Одноатомный идеальный газ, находящийся при 0 °C, нагрет на $\Delta t = 27$ °C. На сколько процентов возросла его внутренняя энергия?

10.137. Один киломоль идеального одноатомного газа находится при температуре $T_1 = 400$ К под давлением $p_1 = 10^6$ Па. В результате изохорического процесса внутренняя энергия газа изменилась на $\Delta U = -12{,}5 \cdot 10^5$ Дж. Определить параметры конечного состояния газа (V_2, p_2, T_2).

10.138. Как изменяется внутренняя энергия идеального газа при: а) изобарическом нагревании; б) изохорическом охлаждении; в) изотермическом сжатии?

10.139. На сколько изменится масса и внутренняя энергия воздуха в комнате при повышении температуры в ней от $t_1 = 10$ °C до $t_2 = 50$ °C? Давление $p = 10^5$ Па. Объем воздуха в комнате $V = 100$ м^3.

10.140. Найти концентрацию молекул идеального одноатомного газа в сосуде вместимостью $V = 2$ л при температуре $t = 27$ °C, если его внутренняя энергия $U = 300$ Дж.

10.141. Зависит ли изменение внутренней энергии газа от способа его перевода из состояния *1* в состояние *3* (рис. 10.5)?

10.142. Определить изменение внутренней энергии идеального одноатомного газа в процессе, изображенном на p—V-диаграмме (рис. 10.6), если $p_0 = 0{,}1$ МПа, $V_0 = 2$ л.

10.143. Определить изменение внутренней энергии идеального одноатомного газа в процессе, изображенном на p—V-диаграмме (рис. 10.7), если $p_0 = 0{,}2$ МПа, $V_0 = 1$ л.

10.144. Над идеальным одноатомным газом совершается процесс, в котором его давление изменяется пропорционально квадрату абсо-

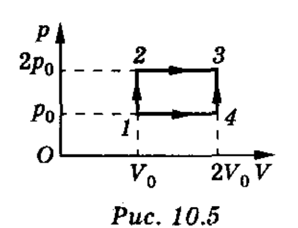


Рис. 10.5

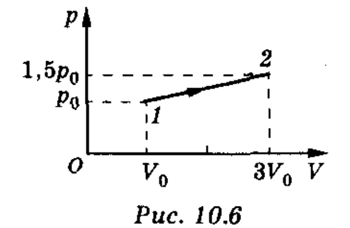


Рис. 10.6

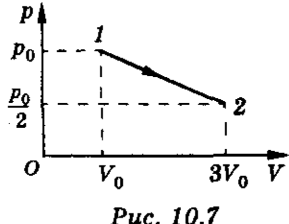


Рис. 10.7

лютной температуры. При увеличении объема от $V_0 = 2$ л до $V = 3V_0$ внутренняя энергия газа уменьшается на $\Delta U = 300$ Дж. Определить давление газа, когда он занимал объем V_0.

10.145. Найти внутреннюю энергию смеси, состоящей из гелия массой $m_1 = 20$ г и неона массой $m_2 = 10$ г, при температуре $T = 300$ К.

10.146. В сосуде находится криптон массой $m_1 = 42$ г и аргон массой $m_2 = 20$ г. Найти изменение внутренней энергии смеси ΔU при ее нагревании на $\Delta t = 50$ °С.

10.147. Изменение состояния одного моля идеального одноатомного газа происходит по закону $pV^n = \text{const}$. Найти изменение внутренней энергии при увеличении объема в два раза для случаев: 1) $n = 0$; 2) $n = 1$; 3) $n = 2$. Начальная температура газа $T_0 = 300$ К.

10.148. Идеальный газ сжимают поршнем и одновременно подогревают. Во сколько раз изменится его внутренняя энергия, если объем газа уменьшить в $n = 5$ раз, а давление увеличить в $k = 7$ раз?

10.149. Один киломоль идеального одноатомного газа расширяется по закону $\frac{p}{V} = \text{const}$. При этом объем газа увеличивается втрое, а его внутренняя энергия увеличивается на $\Delta U = 9{,}972 \cdot 10^6$ Дж. Какова была первоначальная температура газа?

10.150. В длинной гладкой пустой (нет внешнего давления) теплоизолированной трубе находятся два поршня массами m_1 и m_2 (рис. 10.8), между которыми в объеме V_0 при давлении p_0 находится одноатомный газ. Поршни отпускают. Определить их максимальные скорости, если масса газа много меньше массы поршней.

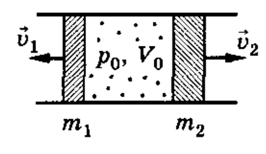


Рис. 10.8

10.151. Сосуд с гелием движется по прямой со скоростью $u = 100$ м/с. На сколько возрастет температура газа, если сосуд остановить? Объем сосуда V. Сосуд с газом теплоизолирован. Темлоемкостью сосуда пренебречь.

10.152. Поршень массой m, замыкающий объем V_0 одноатомного газа при давлении p_0 и температуре T_0, приводят в движение с начальной скоростью v (рис. 10.9). Найти температуру газа при максимальном сжатии. Система теплоизолирована. Темплоемкостями поршня и сосуда пренебречь.

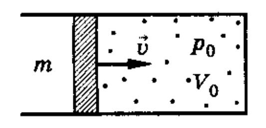


Рис. 10.9

10.153°. В расположенном горизонтально цилиндре, слева от закрепленного поршня находится идеальный одноатомный газ в количестве $\nu = 1$ моль. В правой части цилиндра вакуум, а пружина, расположенная между поршнем и стенкой, недеформирована (рис. 10.10). Цилиндр теплоизолирован от окружающей среды. Когда поршень освободили, объем, занимаемый газом, увеличился вдвое. Найти конечную температуру и давление, если первоначальная температура T, а давление p. Теплоемкости цилиндра, поршня и пружины пренебрежимо малы.

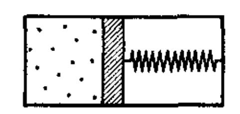


Рис. 10.10

10.154*. Сравнить внутреннюю энергию одного моля гелия и водорода, находящихся при одинаковой температуре.

Работа идеального газа

10.155. Какую работу совершает газ, расширяясь изобарически при давлении $p = 2 \cdot 10^5$ Па от объема $V_1 = 1{,}6$ л до объема $V_2 = 2{,}5$ л?

10.156. В вертикально расположенном цилиндре с площадью основания $S = 1$ дм^2 под поршнем массой $m = 10$ кг находится воздух. При изобарном нагревании поршень поднялся на высоту $h = 20$ см. Какую работу совершил воздух? Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па. Трение не учитывать.

10.157. Какую работу совершает один моль газа при изобарном повышении температуры на $\Delta t = 1$ °C?

10.158. Какую работу совершает кислород массой $m = 0{,}32$ кг при изобарном нагревании на $\Delta T = 20$ К?

10.159. Какая масса водорода находится в цилиндре под поршнем, если при нагревании от температуры $T_1 = 250$ К до температуры $T_2 = 680$ К газ произвел работу $A = 400$ Дж?

10.160. Кислород, взятый при температуре $t_0 = 27$ °C, изобарически сжали до объема в $\eta = 5$ раз меньше первоначального. Определить работу внешней силы при сжатии, если масса газа $m = 160$ г.

10.161. Один киломоль газа при изобарическом расширении совершает работу $A = 831$ кДж. В исходном состоянии объем газа $V_1 = 3$ м^3, а температура $T_1 = 300$ К. Каковы параметры газа p_2, V_2, T_2 после расширения?

10.162. Некоторое количество газа нагревают от температуры $T_1 = 300$ К до температуры $T_2 = 400$ К. При этом объем газа изменяется прямо пропорционально температуре. Начальный объем газа $V = 3$ дм^3. Давление, измеренное в конце процесса, $p = 10^5$ Па. Какую работу совершил газ в этом процессе?

10.163. В вертикальном цилиндре с площадью основания $S = 10$ см^2 находится газ при температуре $t = 17$ °C. На высоте $h = 25$ см от основания цилиндра расположен легкий поршень, на который поставлена гиря весом $P = 20$ Н. Какую работу совершит газ при расширении, если его нагреть на $\Delta t = 100$ °C? Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па. Трения в системе нет.

10.164. В цилиндре под поршнем находится водород при температуре $t = 30$ °C, занимающий объем $V = 8$ дм^3 при давлении $p = 2 \cdot 10^5$ Па. Как изменится температура водорода, если при постоянном давлении совершить над ним работу $A = 50$ Дж?

10.165. При изобарическом нагревании от температуры $t_1 = 20$ °C до температуры $t_2 = 50$ °C газ совершает работу $A = 2{,}5$ кДж. Определить число молекул газа, участвующих в этом процессе.

10.166. Найти работу изобарического расширения двух молей идеального одноатомного газа, если известно, что концентрация молекул в конечном состоянии вдвое меньше, чем в начальном при температуре $T_1 = 300$ К.

10.167. В двух цилиндрах под подвижными поршнями находятся водород и кислород. Сравнить работы, которые совершают эти газы при изобарном нагревании, если их массы, а так же начальные и конечные температуры равны.

10.168. Водород массой $m = 2$ кг при температуре $T = 300$ К охлаждают изохорически так, что его давление падает в $n = 3$ раза. Затем водород изобарически расширяется. Найти работу газа, если его конечная температура равна начальной.

10.169. Газ переходит из состояния *1* в состояние *2* (рис. 10.11). Какую работу он при этом совершает?

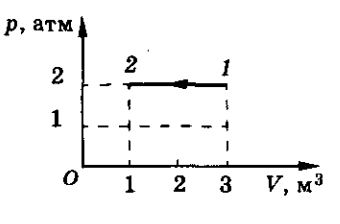


Рис. 10.11

10.170. Некоторая масса газа, занимающего объем $V_1 = 0{,}01$ м^3, находится под давлением $p_1 = 1 \cdot 10^5$ Па при температуре $T_1 = 300$ К. Газ нагревают при постоянном объеме до

температуры $T_2 = 320$ К, а затем при постоянном давлении до температуры $T_3 = 350$ К. Найти работу, совершаемую газом при переходе из состояния *1* в состояние *3* (рис. 10.12).

10.171. Идеальный газ массой m и молярной массой M, находящийся при температуре T, охлаждается изохорически так, что давление падает в n раз. Затем газ расширяется при постоянном давлении. В конечном состоянии его температура равна первоначальной. Определить совершенную газом работу. Построить график данного процесса в координатах p, V.

10.172. Состояние 1 моля идеального одноатомного газа изменялось по изобаре *1—2* и изохоре *2—3* (рис. 10.13). В процессе *1—2—3* газом совершена работа $A = 3500$ Дж. Температура в состояниях *1* и *3* оказалась одинакова. Используя данные рисунка, найти эту температуру и определить изменение внутренней энергии газа в процессе *1—2—3*.

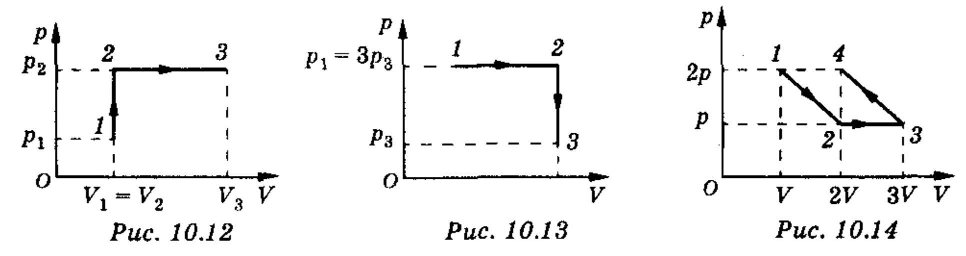


Рис. 10.12 *Рис. 10.13* *Рис. 10.14*

10.173. Некоторый газ переводится из начального состояния в конечное, как показано на рисунке 10.14. Какую работу он при этом совершает?

10.174. Газ переходит из состояния *1* в состояние *2* (рис. 10.15). Определить работу, которую совершил газ в этом процессе.

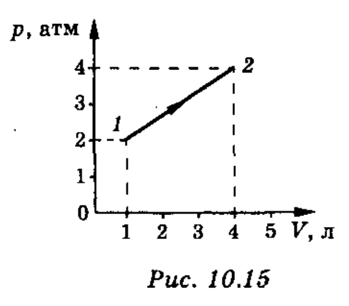


Рис. 10.15

10.175. Некоторый газ расширяется от объема $V_1 = 1$ л до объема $V_2 = 11$ л. Давление при этом изменяется по закону $p = aV$, где $a = 4$ Па/м^3. Найти работу, совершаемую газом. Поглощается или выделяется энергия в этом процессе?

10.176. Один киломоль идеального газа первоначально находился при давлении p_0 и занимал объем V_0. В процессе расширения до объема V_1 по закону $p/V = p_0/V_0$ газ совершает работу. Определить работу, совершенную газом, и найти изменение температуры газа в этом процессе.

10.177. Газ расширяется от давления $p_1 = 2 \cdot 10^3$ Па до давления $p_2 = 10^3$ Па по закону $p = a - bV$, где $a = \text{const}$, $b = 0{,}5$ Па/м^3. Найти работу, совершаемую газом при таком расширении.

10.178. Температура некоторой массы m идеального газа молярной массы M меняется по закону $T = \alpha V^2$, где $\alpha = \text{const}$. Найти работу, совершенную газом при увеличении объема от V_1 до V_2. Поглощается или выделяется энергия в таком процессе?

10.179*. Объем газа увеличился в два раза: один раз изотермически, другой раз изобарически. В каком из этих случаев газ совершил большую работу? Ответ обосновать.

10.180*. Какую работу совершает при изотермическом расширении водород, взятый при температуре $t = 11$ °C, если его объем увеличивается в 3 раза? Масса водорода $m = 5$ г.

10.181*. Газ, занимающий объем $V_1 = 10$ л при давлении $p_1 = 2 \cdot 10^5$ Па, расширяется изотермически до объема $V_2 = 28$ л. Какую работу он при этом совершает?

10.182*. Воздух массой $m = 1$ кг находится под поршнем в цилиндре. Давление воздуха $p = 8 \cdot 10^5$ Па, а температура $t = 158$ °C. При изотермическом расширении его давление уменьшилось вдвое. Найти работу, совершаемую газом, и его конечный объем.

10.183*. Газ, занимающий объем $V_1 = 1$ л при давлении $p_1 = 1$ атм, расширился изотермически до объема $V_2 = 2$ л. Затем при постоянном объеме давление газа было уменьшено в два раза. В дальнейшем газ расширился при постоянном давлении до объема $V_3 = 4$ л. Начертить график зависимости давления от объема и, используя его, установить, в каком из перечисленных процессов газ совершил наибольшую работу. Как менялась температура в каждом процессе?

Первое начало термодинамики

10.184. При нагревании газа его внутренняя энергия увеличивается на $\Delta U = 600$ Дж и он совершает работу $A = 200$ Дж. Какое количество тепла сообщили газу?

10.185. Над идеальным газом совершается работа $A = 200$ Дж, при этом его внутренняя энергия возрастает на $\Delta U = 500$ Дж. Какое количество теплоты было подведено к газу в этом процессе?

10.186. Газу сообщают количество теплоты $Q = 7$ кДж. При этом $\eta = 60\%$ подведенного тепла идет на увеличение внутренней энергии газа. Найти работу, совершаемую газом.

10.187. Газу сообщают количество теплоты $Q = 5 \cdot 10^5$ Дж. Какая часть количества теплоты пошла на увеличение внутренней энергии газа, если в процессе расширения газ совершил работу $A = 2 \cdot 10^5$ Дж?

10.188. При сообщении идеальному газу количества теплоты Q газ совершает работу A. Какой была внутренняя энергия газа U_0, если его температура выросла в n раз?

10.189. Идеальный одноатомный газ, взятый в количестве $\nu = 2$ кмоль, переводят из одного состояния в другое. При этом температура газа в обоих состояниях одинакова $t = 27$ °С. Определить внутреннюю энергию газа в обоих состояниях, ее изменение и работу, совершенную газом при этом переходе, если известно, что газу сообщили количество теплоты $Q = 10$ кДж.

10.190. В закрытом сосуде находится гелий, взятый в количестве $\nu = 3$ моля при температуре $t = 27$ °С. На сколько процентов увеличится давление в сосуде, если газу сообщить количество теплоты $Q = 3$ кДж?

10.191. Одноатомный идеальный газ, первоначально занимающий объем $V_1 = 2$ м^3, изохорически перевели в состояние, при котором его давление увеличилось на $\Delta p = 0{,}2$ МПа. Какое количество теплоты сообщили газу?

10.192*. В баллоне объемом $V = 1$ л находится кислород под давлением $p = 10^7$ Па при температуре $T = 300$ К. К газу подводят количество теплоты 8,35 кДж. Определить температуру и давление газа после нагревания.

10.193. В баллоне содержится одноатомный газ $\nu = 4$ моля при температуре $T = 300$ К. При нагревании баллона средняя квадратичная скорость молекул газа увеличилась в $n = 1{,}3$ раза. Какое количество теплоты сообщили газу?

10.194. При изобарном нагревании одноатомного газа, взятого в количестве $\nu = 800$ молей, ему сообщили количество теплоты 9,4 МДж. Определить работу газа и изменение его внутренней энергии.

10.195. Гелий объемом $V_0 = 1$ м^3 при 0 °С находится в цилиндрическом сосуде, закрытом сверху скользящим поршнем массой $m = 1$ т и площадью сечения $S = 0{,}5$ м^2. Атмосферное давление $p_0 = 973$ гПа. Какое количество теплоты потребуется для нагревания гелия до температуры $t = 300$ °С? Каково изменение его внутренней энергии? Трение не учитывать.

10.196. Для нагревания некоторого количества воздуха при постоянном давлении от температуры $t_1 = 15$ °С до температуры $t_2 = 65$ °С

требуется количество теплоты $Q_1 = 5$ кДж. Для его нагревания при постоянном объеме при тех же начальной и конечной температурах требуется количество теплоты $Q_2 = 3{,}5$ кДж. Каков объем воздуха при температуре $t_1 = 15$ °С и давлении $p = 2 \cdot 10^5$ Па?

10.197. Идеальный одноатомный газ занимает объем $V_1 = 1$ м^3 и находится под давлением $p_1 = 2 \cdot 10^5$ Па. Газ нагревают сначала при постоянном давлении до объема $V_2 = 3$ м^3, а затем при постоянном объеме до давления $p_2 = 5 \cdot 10^5$ Па. Найти количество теплоты Q, полученное газом.

10.198. В изотермическом процессе газ совершает работу $A = 150$ Дж. На сколько изменится внутренняя энергия этого газа, если ему сообщить количество теплоты в 2 раза меньшее, чем в первом случае, а процесс производить изохорически?

10.199. Идеальный газ переводят из состояния *1* с давлением $p_1 = 4 \cdot 10^5$ Па и объемом $V_1 = 3$ м^3 в состояние *2* с давлением $p_2 = 2 \cdot 10^5$ Па *и объемом* $V_2 = 1$ м^3 *различными путями. Один раз переход совершался* сначала по изобаре, затем по изохоре, а второй раз сначала по изохоре, а затем по изобаре. В каком случае выделяется больше тепла? Определить разницу в тепловыделении.

10.200. Определить работу, совершаемую при адиабатическом сжатии ν молей идеального одноатомного газа, если его температура уменьшилась на ΔT.

10.201. При адиабатном процессе газом была совершена работа $A = 150$ Дж. Как и на сколько изменилась его внутренняя энергия?

10.202. Определить работу адиабатического расширения гелия массой $m = 4$ г, если температура при этом понизилась на $\Delta t = 27$ °С.

10.203. При адиабатическом сжатии аргона массой $m = 1$ кг совершена работа $A = 10^5$ Дж. Какова будет конечная температура T_2 газа, если до сжатия аргон находился при температуре $t_1 = 27$ °С?

10.204. Один моль идеального одноатомного газа совершает процесс, при котором давление растет пропорционально объему по закону $p = \alpha V$. Газу сообщили количество теплоты $Q = 33{,}2$ Дж. На сколько при этом изменилась температура газа?

10.205. Идеальный одноатомный газ участвует в процессе *1—2—3*, представленном на рисунке 10.16. Найти отношение количества теплоты, полученного газом, к работе, совершенной газом.

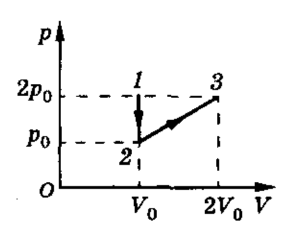


Рис. 10.16

10.206. На p—V-диаграмме изображен процесс расширения газа (рис. 10.17), при котором он переходит из состояния *1* с давлением p и объемом V в состояние *2* с давлением $\frac{p}{2}$ и объемом $2V$. Найти количество теплоты Q, которое сообщили этому газу. Линия *1—2* — отрезок прямой.

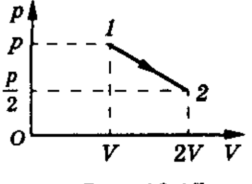


Рис. 10.17

10.207. Какое количество теплоты необходимо отобрать у гелия, взятого в количестве $\nu = 4$ моль, в процессе *1—2* (рис. 10.18), чтобы его температура стала $t = 20$ °С? Известно, что при охлаждении объем гелия уменьшился в 4 раза, а давление возросло вдвое.

10.208. Один моль идеального одноатомного газа участвует в процессе *1—2—3*, изображенном на рисунке 10.19. Найти полученное газом количество теплоты Q, если известны объемы V_1, V_2 и давления p_1, p_2.

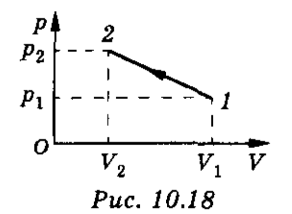


Рис. 10.18

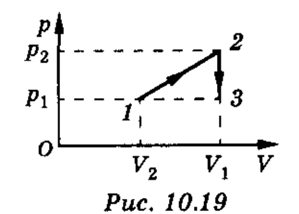


Рис. 10.19

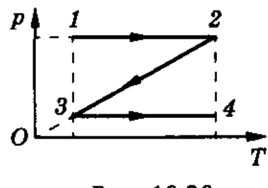


Рис. 10.20

10.209. Один моль идеального одноатомного газа сначала нагревают, затем охлаждают так, что замкнутый цикл *1—2—3—1* на p—V-диаграмме состоит из отрезков прямых *1—2* и *3—1*, параллельных осям p и V соответственно, и изотермы *2—3*. Построить график этого процесса и найти количество теплоты Q, отданное газом в процессе охлаждения. Давление и объем газа в состоянии *1* равны p_1 и V_1, давление газа в состоянии *2* — p_2.

10.210. Неон массой $m = 200$ г переводится из состояния *1* в состояние *4*, как показано на p—V-диаграмме (рис. 10.20). Определить подведенное газу количество теплоты в процессе *1—2—3—4*, если разность конечной и начальной температур $t_4 - t_1 = 100$ °С. Молярная масса неона $M = 0{,}02$ кг/кмоль. Построить график этого процесса в координатах pV.

10.211. Над идеальным одноатомным газом совершают два тепловых процесса, нагревая его из одного и того же начального состояния *1* до одинаковой конечной температуры (точки *2* и *3* лежат на одной изотерме) (рис. 10.21). На p—V-диаграмме процессы изображаются прямыми линиями *1—2* и *1—3*. Определить, при каком из процессов газу сообщают большее количество теплоты.

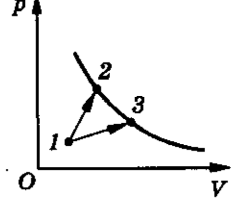


Рис. 10.21

10.212. В каком процессе (рис. 10.22) и во сколько раз одна и та же масса газа получит большее количество теплоты? Ответ обосновать.

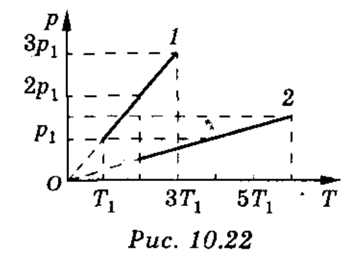


Рис. 10.22

10.213°. В горизонтальном неподвижном цилиндрическом сосуде, закрытом поршнем массой m, находится один моль идеального одноатомного газа. Газ нагревают. Поршень, двигаясь равноускоренно, приобретает скорость v. Найти количество теплоты, сообщенной газу. Теплоемкость сосуда и поршня, а также внешнее давление не учитывать.

Теплоемкость газа

10.214. Чему равны изохорные молярная $C_{\mu V}$ и удельная c_V теплоемкости гелия?

10.215. Одноатомный идеальный газ при нормальных условиях имеет плотность ρ. Чему равны его удельные теплоемкости c_p и c_V?

10.216. Для нагревания аргона массой $m = 1$ кг при давлении $p = 10^5$ Па на $\Delta T = 2$ К необходимо затратить количество теплоты $Q_1 = 1{,}1$ МДж. При охлаждении этой же массы газа от температуры $T_1 = 373$ К до температуры $T_2 = 273$ К при постоянном объеме $V = 5$ л выделяется количество теплоты $Q_2 = 2{,}1$ МДж, если начальное давление газа $p_0 = 10^6$ Па. Определить по этим данным отношение $\dfrac{c_p}{c_V}$.

10.217. Закрытый сосуд заполнен смесью газов, состоящей из неона, масса которого $m_1 = 4$ г, и аргона, масса которого $m_2 = 1$ г. Газы считать идеальными. Определить удельную теплоемкость этой смеси газов.

10.218. В процессе изобарического расширения идеального одноатомного газа было затрачено $Q = 1200$ Дж тепла. Определить работу, совершенную газом. Найти теплоемкость одного киломоля газа в этом процессе.

10.219. Используя первое начало термодинамики и уравнение состояния идеального газа, доказать, что $c_p - c_V = \dfrac{R}{M}$, где c_p и c_V — удельные теплоемкости газа при постоянном давлении и объеме соответственно, а M — молярная масса газа.

10.220. Для нагревания газа массой $m = 1$ кг на $\Delta T = 1$ К при постоянном давлении требуется количество теплоты $Q_1 = 912$ Дж, а при постоянном объеме $Q_2 = 649$ Дж. Какой это газ?

10.221. Один киломоль идеального одноатомного газа расширяется по закону $pV^2 = \text{const}$. Найти молярную теплоемкость газа.

10.222. Один киломоль идеального одноатомного газа расширяется по закону $p = aV$, где $a = \text{const}$. Найти молярную теплоемкость газа.

10.223. При адиабатическом расширении азота массой $m = 1$ кг газом совершена работа $A = 300$ Дж. Найти изменение его внутренней энергии и температуры, если известно, что удельная теплоемкость азота при постоянном объеме $c = 475$ Дж/(кг · К).

10.224. В цилиндре под тяжелым поршнем находится углекислый газ массой $m = 20$ г. Газ нагревают от температуры $t_1 = 20$ °С до температуры $t_2 = 108$ °С. Какую работу при этом совершает газ? Какое количество теплоты сообщили газу? Молярная теплоемкость углекислого газа при постоянном объеме $C_{\mu V} = 3R$.

10.225. В процессе расширения азота его объем увеличился на 2%, а давление уменьшилось на 1%. За счет какой части теплоты, полученной азотом, была совершена работа? Удельная теплоемкость азота при постоянном объеме $c_V = 745$ Дж/(кг · К). (Изменением давления пренебречь.)

10.226. Один моль кислорода нагревают при постоянном давлении от температуры $t_0 = 0$ °С. Какое количество теплоты необходимо сообщить газу, чтобы его объем увеличился в $\eta = 2$ раза?

10.227. Известно, что при нагревании в закрытом сосуде удельная теплоемкость воздуха $c_V = 716$ Дж/(кг · К). Определить изменение температуры воздуха в изобарическом процессе, если при этом газ массой $m = 290$ г получает тепловую энергию $Q = 600$ Дж.

10.228. В сосуде под поршнем находится газ. В каком случае требуется больше теплоты для нагревания газа на одну и ту же температуру и во сколько раз, если: поршень движется без трения, поршень закреплен? Ответ дать для: а) одноатомного; б) двухатомного; в) многоатомного газа.

10.229. Зависимость давления газа от объема показана на рисунке 10.23 кривой $1—2$, лежащей между изотермой и адиабатой. Как при этом изменяется температура газа? Получает ли газ в этом процессе количество теплоты?

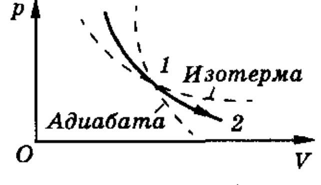


Рис. 10.23

10.230. Один моль идеального одноатомного газа расширяется согласно графику (рис. 10.24). В каком из процессов *1—2*, *2—3* или *3—4* *средняя молярная теплоемкость газа имеет наибольшее и наименьшее* значение? Найти эти величины.

10.231. Один моль идеального одноатомного газа совершает последовательно три процесса, показанные на рисунке 10.25. Для каждого из процессов найти значение средней молярной теплоемкости и определить, в каком из процессов средняя теплоемкость максимальна.

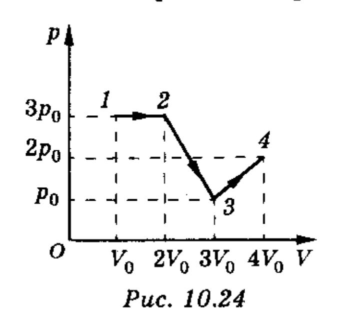


Рис. 10.24

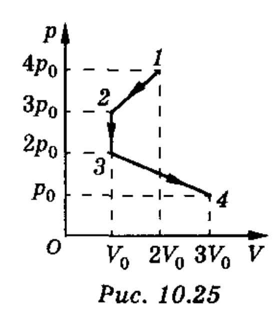


Рис. 10.25

10.232. В теплоизолированном закрытом сосуде находится один моль одноатомного идеального газа при температуре $T_0 = 300$ К и кусочек железа массой $m = 0{,}2$ кг, нагретый до температуры $T_1 = 500$ К. Давление газа $p_0 = 105$ Па. Каким станет давление газа, когда установится тепловое равновесие?

Тепловые двигатели

10.233. Когда газ в цилиндре двигателя обладает большей внутренней энергией: после проскакивания искры или к концу рабочего хода?

10.234. Идеальный тепловой двигатель за $\Delta t = 0{,}5$ часа получает от нагревателя количество теплоты $Q_1 = 150$ кДж. Определить полезную мощность двигателя, если он отдает холодильнику количество теплоты $Q_2 = 100$ кДж.

10.235. Количество теплоты, отданное тепловым двигателем за цикл $Q_1 = 1{,}5$ кДж, КПД двигателя $\eta = 20\%$. Определить полученное от нагревателя за цикл количество теплоты.

10.236. Количество теплоты, полученное от нагревателя тепловым двигателем, равно $Q_1 = 20$ кДж. За это же время он отдает холодильнику количество теплоты $Q_2 = 0{,}75Q_1$. Найти КПД этого двигателя и работу, совершаемую им.

10.237. Тепловой двигатель имеет полезную мощность $N = 2$ кВт. Какое количество теплоты получает двигатель за $\Delta t = 1$ ч, если его КПД $\eta = 12\%$?

10.238. Тепловой двигатель с КПД $\eta = 12\%$ совершает за цикл работу $A = 150$ Дж. Определить количество теплоты, отданное за цикл холодильнику.

10.239. Количество теплоты, отданное тепловым двигателем холодильнику за цикл, $Q = 25$ Дж, КПД двигателя $\eta = 15\%$. Определить работу, совершаемую двигателем за цикл.

10.240. Идеальный газ совершает работу, изменяя свое состояние по замкнутому циклу, состоящему из двух изохор и двух изобар (рис. 10.26). В состоянии *1* температура газа равна T_1; в состояниях *2* и *4* температура газа T_2. Масса газа m, молярная масса M. Какую работу совершает газ за один цикл?

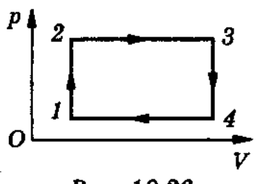


Рис. 10.26

10.241. С идеальным одноатомным газом проводят циклический процесс *1—2—3—4—1* (рис. 10.27), где *1—2*, *3—4* — изобарические процессы, а *2—3* и *4—1* — изохорические процессы. Определить количество теплоты, полученное и отданное газом, если известно, что точки *1* и *3* лежат на одной изотерме. Давление меняется от p_1 до p_2, а объем от V_1 до V_2. Определить изменение внутренней энергии газа за один цикл.

10.242*. Один моль идеального одноатомного газа совершает процесс сжатия *3—1* без теплообмена с внешними телами (рис. 10.28), при этом его объем уменьшается в 3 раза. Температура газа в состоянии *1* равна T_1. Определить работу газа при сжатии, если известно, что работа циклического процесса *1—2—3—4—1* равна A.

10.243. С идеальным газом, взятом в количестве $\nu = 3$ моля, проводят замкнутый процесс, состоящий из двух изохор и двух изобар. Отношение давлений на изобарах $\alpha = 5/4$, отношение объемов на изохорах $\beta = 6/5$. Разность максимальной и минимальной температур в процессе $\Delta T = 100$ К. Найти работу, совершаемую газом за один цикл.

10.244. Над идеальным газом совершают циклический процесс *1—2—3—1*, график которого показан на рисунке 10.29. Работа при сжа-

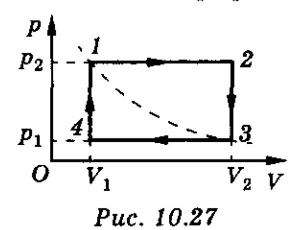


Рис. 10.27

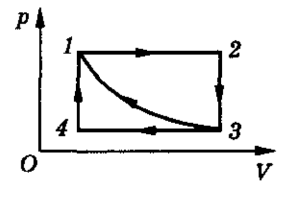


Рис. 10.28

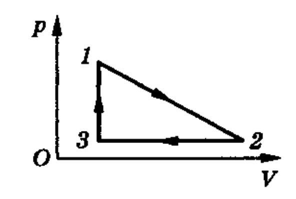


Рис. 10.29

тии (участок графика *2—3*) равна A_1. Объем газа в ходе цикла изменяется в 4 раза. Процесс расширения (участок графика *1—2*) происходит так, что давление зависит от объема по линейному закону, а состояния *1* и *2* соответствуют одной и той же температуре. Определить работу газа в ходе цикла.

10.245*. С одним молем идеального газа совершают циклический процесс *1—2—3—1* (рис. 10.30). В состоянии *1* давление газа p_1, объем V_1. При расширении давление зависит от объема по линейному закону, причем объем увеличивается в 3 раза. Работа, производимая газом за один цикл, $A = p_1V_1$. Определить максимальную температуру газа в данном цикле.

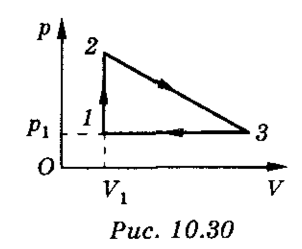


Рис. 10.30

10.246. Найти работу идеального газа в циклическом процессе, изображенном на рисунке 10.31, если известно, что $p_5 - p_2 = p_2 - p_1 = p$, $V_3 - V_5 = V_5 - V_1 = V$. На каких участках цикла газ получает тепло и на каких отдает? Ответ обосновать.

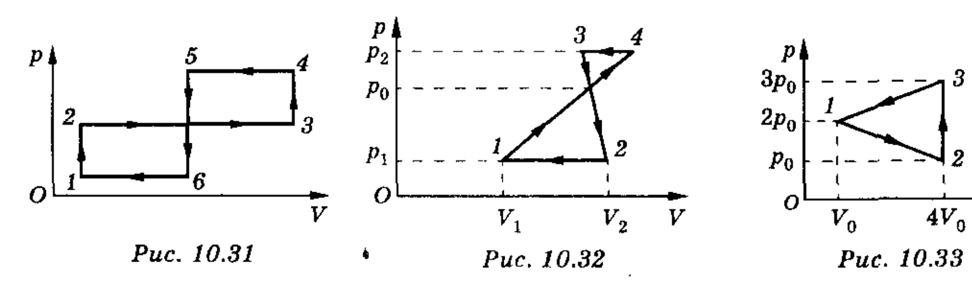


Рис. 10.31 *Рис. 10.32* *Рис. 10.33*

10.247. Определить работу A, которую совершит идеальный газ за цикл *1—4—3—2—1* (рис. 10.32), если $p_1 = 10^5$ Па, $p_0 = 3 \cdot 10^5$ Па, $p_2 = 4 \cdot 10^5$ Па, $V_1 = 10$ л, $V_2 = 20$ л.

10.248. Определить изменение внутренней энергии ΔU и работу A, которую совершает идеальный одноатомный газ за цикл *1—2—3—1*, изображенный на рисунке 10.33, если $p_0 = 10^5$ Па, $V_0 = 1$ м^3.

10.249. Моль идеального одноатомного газа из начального состояния *1* (рис. 10.34) с температурой $T_1 = 400$ К, быстро расширяясь, переходит в состояние *2* (без теплообмена с окружающей средой). Затем газ сжимают (процесс *2—3*) так, что давление является линейной функцией объема, и, наконец, в изохорном процессе *3—1* газ возвращают в исходное состояние. Найти работу,

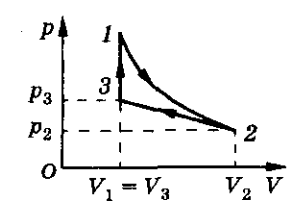


Рис. 10.34

совершенную газом при его расширении в процессе *1—2*, если известно, что в процессах *2—3—1* газу передано количество теплоты Q = 720 Дж, $V_2 = 3V_1$ и $T_2 = T_3$.

10.250*. Цикл, совершаемый идеальным одноатомным газом, состоит из изотермы, изобары и изохоры. Изотермический процесс происходит при максимальной температуре цикла T = 400 К. Известно, что в пределах цикла объем газа изменяется в 2 раза, т. е. $a = V_{max}/V_{min} = 2$. Вычислить работу газа за цикл и КПД цикла. Молярные теплоемкости газа $C_{\mu V} = 3/2R$ и $C_{\mu p} = 5/2R$.

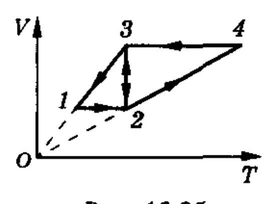


Рис. 10.35

10.251. На рисунке 10.35 изображены V—T-диаграммы двух круговых процессов. В каком процессе: *1—2—3—1* или *2—4—3—2* газ совершает бо́льшую работу?

10.252. С одним киломолем идеального одноатомного газа осуществляется цикл, изображенный на рисунке 10.36 в координатах V, T. Газ последовательно проходит состояния *1—2—3—4—1*. Заданы объемы V_1 и V_2, а также давление в состоянии *1* — p_1 и в состоянии *3* — p_3. Найти работу, совершенную газом за один цикл.

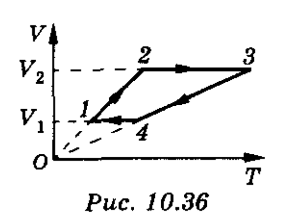


Рис. 10.36

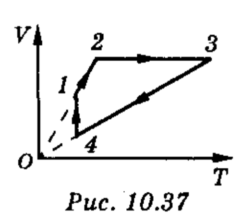


Рис. 10.37

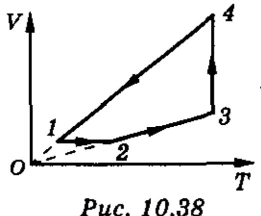


Рис. 10.38

10.253. В круговом процессе (рис. 10.37) участвует ν = 1,5 моля идеального газа. Направление процесса указано стрелками. Найти работу, совершенную газом за цикл, если на участке *1—2* он отдает холодильнику количество теплоты Q = 2740 Дж. Температуры в состоянии *3* и *4* соответственно T_3 = 600 К и T_4 = 300 К.

10.254. С четырьмя молями идеального газа совершают круговой процесс в направлении, показанном на рисунке 10.38. На участке *3—4* газу передается количество теплоты Q = 2200 Дж. Температуры в состояниях *1* и *2* соответственно T_1 = 373 К, T_2 = 423 К. Найти работу, совершаемую газом за цикл.

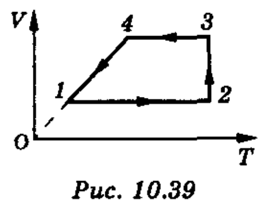


Рис. 10.39

10.255. С идеальным газом совершают круговой процесс, изображенный на рисунке 10.39, в направлении, указанном стрелками. В состояниях *1*

и *4* температуры газа соответственно $T_1 = 400$ К, $T_4 = 450$ К. На участке *2—3* газу передают количество теплоты $Q = 1500$ Дж. Найти работу, совершаемую газом, взятым в количестве $\nu = 3$ моль, в этом цикле.

10.256. С одним киломолем идеального одноатомного газа осуществляется цикл, изображенный на рисунке 10.40 в координатах p, T. На участке *1—2*: $p = p_1 = \text{const}$; на *2—3*: $p = aT$, $a = \text{const}$; на *3—4*: $p = p_3 = \text{const}$; на *4—1*: $p = bT$, $b = \text{const}$ ($b > a$). Известна температура T_4. Найти работу, совершаемую газом за один цикл. Известно, что $p_1 = 2p_3$, $T_3 = T_1 = 4T_4$, $T_2 = 4T_4$.

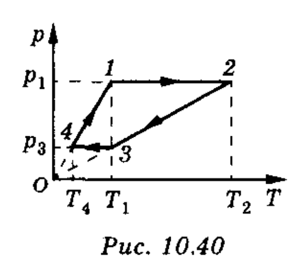


Рис. 10.40

10.257. С одним молем идеального газа совершают циклический процесс *1—2—3—4—1*, изображенный на T—p-диаграмме (рис. 10.41). Определить работу, совершенную газом за цикл, если температуры в состояниях *1* и *3* равны соответственно T_1 и T_3, а температуры в состояниях *2* и *4* одинаковы.

10.258. С идеальным газом совершают круговой процесс, изображенный на рисунке 10.42, в направлении, указанном стрелками. В состояниях *2* и *3* температуры газа соответственно $T_2 = 400$ К, $T_3 = 600$ К. На участке *4—1* газ отдает холодильнику количество теплоты $Q = 3000$ Дж. Найти работу, совершаемую газом, взятым в количестве $\nu = 2{,}5$ моля, за цикл.

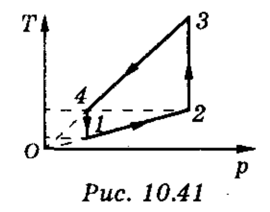


Рис. 10.41

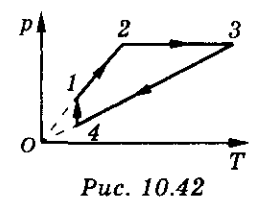


Рис. 10.42

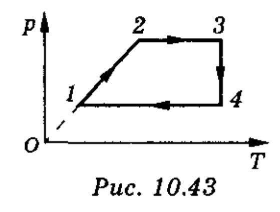


Рис. 10.43

10.259. С двумя молями идеального газа совершают круговой процесс в направлении, показанном на рисунке 10.43 стрелками. Температуры газа в состояниях *1* и *2* соответственно $T_1 = 300$ К, $T_2 = 400$ К. Количество теплоты, подведенное к нему на участке *3—4*, $Q = 2000$ Дж. Найти работу, совершенную газом за цикл.

10.260. В круговом процессе, изображенном на рисунке 10.44, участвует идеальный газ, взятый в количестве $\nu = 5$ молей. Направление процесса указано стрелками. Найти работу, совершенную газом за цикл, если на участке *2—3* ему передают количество теплоты $Q = 8000$ Дж, а температуры газа в состояниях *1* и *4* соответственно равны $T_1 = 300$ К и $T_4 = 450$ К.

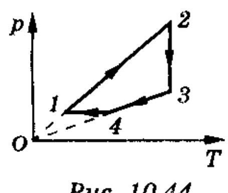


Рис. 10.44

10.261. Над рабочим веществом тепловой машины совершают цикл, который может быть представлен двумя изобарами (давление p_1 и p_2) и двумя изохорами (объемы V_1 и V_2). Найти КПД цикла, если рабочим веществом является идеальный одноатомный газ.

10.262. Над одним молем азота совершают замкнутый цикл (рис. 10.45). Известно: $p_1 = 2 \cdot 10^5$ Па, $V_1 = 10$ л, $p_2 = 4 \cdot 10^5$ Па, $V_2 = 20$ л, молярные теплоемкости при постоянном объеме $C_{\mu V} = 21$ Дж/(моль · К) и постоянном давлении $C_{\mu p} = 29$ Дж/(моль · К). Вычислить КПД цикла.

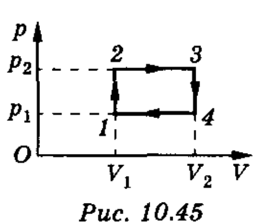


Рис. 10.45

10.263. На p—V-диаграмме показаны два замкнутых термодинамических цикла, проведенных с идеальным одноатомным газом: *1—2—3—4* и *1—5—6—4—1* (рис. 10.46). Определить отношение коэффициентов полезного действия этих циклов: η_1/η_2.

10.264. Найти отношение КПД циклов *1—2—3—4—1* и *5—6—7—8—5*, представленных на p—V-диаграмме (рис. 10.47). Рабочее тело — идеальный одноатомный газ.

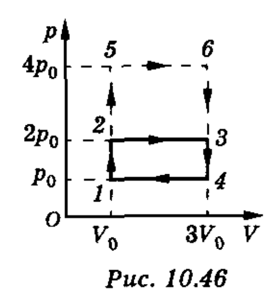


Рис. 10.46

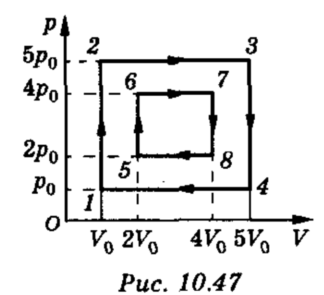


Рис. 10.47

10.265. Найти КПД цикла (рис. 10.48), если известно, что максимальная и минимальная температуры в цикле отличаются в 4 раза. Рабочее тело — идеальный одноатомный газ.

10.266. Над идеальным одноатомным газом произведен замкнутый процесс *1—2—3—1* (рис. 10.49). Известно, что работа, совершаемая газом в этом процессе, в $n = 9$ раз меньше количества теплоты, отдаваемого газом на участке *3—1*. Чему равен КПД цикла?

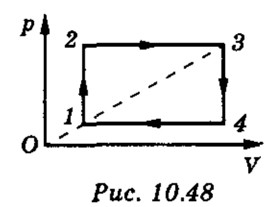


Рис. 10.48

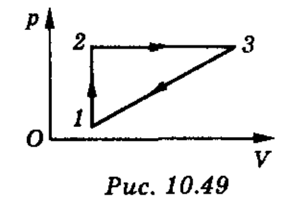


Рис. 10.49

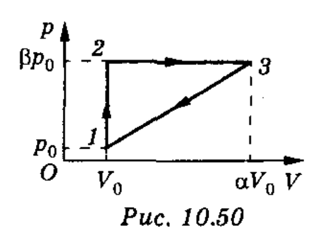


Рис. 10.50

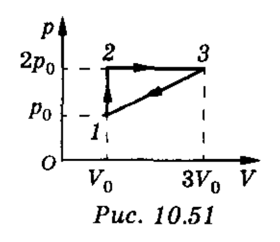


Рис. 10.51

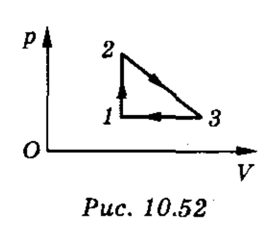


Рис. 10.52

10.267*. Показать, что КПД изображенного на рисунке 10.50 цикла, произведенного с идеальным одноатомным газом, не превышает 20%.

10.268. Подсчитать КПД для цикла *1—2—3—1*, изображенного на диаграмме (рис. 10.51). Рабочее тело — идеальный двухатомный газ.

10.269. С одним молем идеального одноатомного газа совершают циклический процесс *1—2—3—1* (рис. 10.52). В процессе *2—3* давление газа линейно зависит от объема, причем объем увеличивается вдвое. Состояниям *2* и *3* соответствует одинаковая температура. Найти КПД тепловой машины, работающей по такому циклу.

10.270. Во сколько раз КПД цикла *1—2—4—1* больше КПД цикла *2—3—5—2* (рис. 10.53)? Рабочее тело — идеальный одноатомный газ.

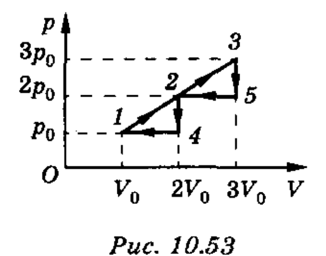


Рис. 10.53

10.271. Определить КПД тепловой машины, работающей по циклу *1—3—4—1* (рис. 10.54), если КПД машины, работающей по циклу *1—2—3—4—1*, равен η.

10.272. Коэффициент полезного действия цикла *1—2—3—4—1*, представленного на рисунке 10.55, равен η = 40%. Определить КПД цикла *1—3—4—1*.

10.273. Известно, что КПД η_1 цикла *1—2—3—1* (рис. 10.56) и КПД η_2 цикла *3—2—4—2* связаны соотношением: $\eta_2 = 0{,}75\eta_1$. Найти, во сколько раз давление в изобарическом процессе *2—4* превышает давление в изобарическом процессе *3—1*. Рабочее тело — идеальный одноатомный газ.

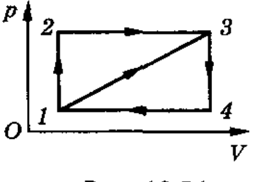


Рис. 10.54

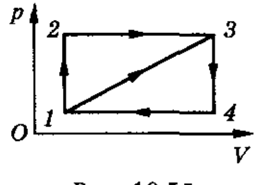


Рис. 10.55

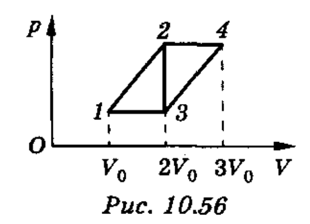


Рис. 10.56

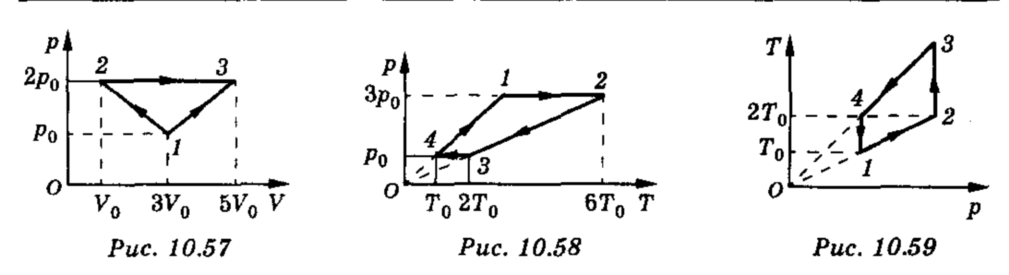


Рис. 10.57 *Рис. 10.58* *Рис. 10.59*

10.274. Найти КПД изображенного на рисунке 10.57 цикла. Рабочее тело — идеальный одноатомный газ.

10.275. Какую работу совершают два моля идеального одноатомного газа в цикле *1—2—3—4—1*, изображенном на рисунке 10.58, если $p_0 = 10^5$ Па, $T_0 = 400$ К? Определить КПД такого цикла.

10.276. Изобразить приведенный на рисунке 10.59 циклический процесс на p—V-диаграмме. Найти КПД цикла. Рабочее тело — идеальный одноатомный газ.

10.277. Циклический процесс, изображенный на рисунке 10.60, состоит из адиабаты, изобары и изохоры. КПД процесса $\eta = 60\%$. Чему равно отношение количества теплоты, полученного рабочим веществом в изобарическом процессе к количеству теплоты, отданному холодильнику в изохорическом процессе?

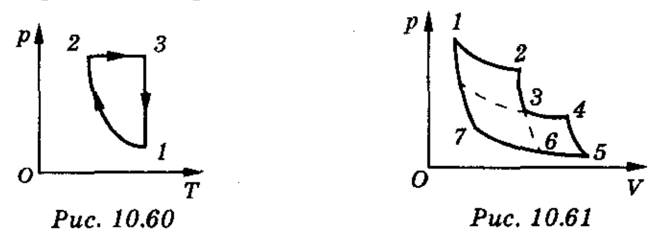


Рис. 10.60 *Рис. 10.61*

10.278*. Циклический процесс *1—2—3—4—5—6—7—1* состоит из трех изотерм и трех адиабат (рис. 10.61). Найти КПД этого цикла, если известно, что КПД цикла *1—2—3—6—7—1* $\eta_1 = 40\%$, КПД цикла *3—4—5—6—3* $\eta_2 = 25\%$ и количество теплоты, полученное рабочим веществом в цикле *1—2—3—6—7—1*, в 2 раза больше количества теплоты, полученного в цикле *3—4—5—6—3*.

Цикл Карно

10.279. Чему равен максимальный коэффициент полезного действия тепловой машины, если температура нагревателя $t_1 = 227$ °С, а холодильника $t_2 = 27$ °С?

10.280. КПД цикла Карно $\eta = 1/4$. Во сколько раз нужно увеличить температуру нагревателя (оставляя неизменной температуру холодильника), чтобы КПД увеличился вдвое?

10.281. В каком случае КПД тепловой машины с максимально возможным КПД (машины Карно) увеличится больше: при увеличении температуры нагревателя на ΔT или при таком же понижении температуры холодильника? Ответ обосновать.

10.282. Во сколько раз максимально возможный коэффициент полезного действия двигателя внутреннего сгорания выше, чем максимально возможный КПД паровой машины, работающей на перегретом паре при температуре t_1 = 300 °С, если температура газов в цилиндре двигателя достигает t_2 = 1000 °С. Отработанные газ и пар имеют одинаковую температуру t = 220 °С.

10.283. Температура нагревателя идеальной тепловой машины t_1 = = 117 °С, а холодильника — t_2 = 27 °С. Количество теплоты, получаемое машиной от нагревателя за 1 с, равно Q = 60 кДж. Вычислить КПД машины, количество теплоты, отдаваемое холодильнику в 1 с, и мощность машины.

10.284. В идеальной тепловой машине за счет каждого килоджоуля энергии, получаемой от нагревателя, совершается работа A = 300 Дж. Определить КПД машины и температуру нагревателя, если температура холодильника T_2 = 280 К.

10.285. Тепловая машина (с идеальным газом в качестве рабочего тела) работает по циклу Карно, т. е. имеет максимально возможный КПД. Температура нагревателя T_1 = 600 К, температура холодильника T_2 = 300 К. Работа, совершаемая газом при изотермическом расширении, A_1 = 200 Дж. Найти КПД цикла и теплоту, которая отдается холодильнику за один цикл.

10.286. Три четверти теплоты, полученной от нагревателя при осуществлении цикла Карно, передается холодильнику. Температура нагревателя T_1 = 400 К. Найти температуру холодильника.

10.287. Идеальная тепловая машина имеет полезную мощность N = 73,5 кВт и работает в температурном интервале от t_1 = 100 °С до t_2 = 0 °С. Определить энергию, полученную машиной от нагревателя за 1 ч, и энергию, отдаваемую холодильнику за 1 ч.

10.288. Температура горения некоторого химического топлива в воздухе при нормальном давлении T_1 = 1500 К. Каков максимально возможный КПД тепловой машины, использующей данное топливо? Роль холодильника выполняет окружающий воздух с температурой T_2 = 300 К.

Найти мощность двигателя, если в окружающий воздух ежесекундно рассеивается количество теплоты $Q = 20$ кДж.

10.289. Найти работу на участке изотермического расширения рабочего тела теплового двигателя, работающего по циклу Карно, если коэффициент полезного действия равен $\eta = 80\%$, а количество теплоты, отдаваемое за цикл холодильнику, $Q = 2$ Дж.

10.290. В камере сгорания двигателя, работающего на смеси кислорода с водородом, образуются горячие водяные пары при давлении $p = 8{,}32 \cdot 10^7$ Па. Масса паров воды $m = 180$ г. Объем камеры сгорания $V = 0{,}002$ м^3. Определить максимальный КПД такого двигателя, если температура отработанных паров $T_2 = 1000$ К.

10.291. В установках для поддержания рекордно низких температур мощность «паразитного» притока тепла, связанного с несовершенством теплоизоляции, удается снизить до $N_п = 0{,}01$ Вт. Рассчитать минимальную мощность N_x, которую в этом случае нужно затратить, чтобы поддерживать в камере температуру $T_2 = 10^{-4}$ К при температуре окружающей среды $t_1 = 20$ °C.

10.292. КПД идеальной тепловой машины $\eta = 0{,}25$. Машина работает по обратному циклу (как холодильная). Какое максимальное количество тепла можно забрать из холодильника, совершив работу $A = 10$ Дж? Чему равен холодильный коэффициент машины ε?

10.293. Идеальная тепловая машина, работающая по обратному циклу Карно, отнимает от охлаждаемого тела с температурой $t_1 = -10$ °C количество теплоты $Q = 28$ кДж и передает телу с температурой $t_2 = 17$ °C. Определить КПД цикла, количество теплоты, переданное нагретому телу за цикл, и холодильный коэффициент машины ε.

10.294. Идеальная холодильная машина, работающая по обратному циклу Карно, передает тепло от холодильника с водой при температуре $t_2 = 0$ °C кипятильнику с водой при температуре $t_1 = 100$ °C. Какую массу воды нужно заморозить в холодильнике, чтобы превратить в пар воду массой $m_1 = 1$ кг в кипятильнике?

Влажность

10.295. В воздухе объемом $V = 5$ м^3 содержится водяной пар массой $m = 80$ г. Определить абсолютную влажность воздуха.

10.296. Через трубку с поглощающим влагу веществом пропущено $V = 10$ л воздуха. При этом масса трубки увеличилась на $m = 300$ мг. Определить абсолютную влажность воздуха.

10.297. В закрытом сосуде объемом $V = 1$ м^3 находится влажный воздух с абсолютной влажностью $\rho = 10^{-2}$ кг/м^3. Сколько молекул водяного пара находится в сосуде?

10.298. При температуре $t = 20$ ° С плотность насыщенного пара ртути $\rho = 0{,}02$ кг/м^3. Найти давление насыщенного пара при этой температуре.

10.299. Найти абсолютную влажность воздуха, зная, что содержащийся в нем водяной пар имеет парциальное давление $p = 1{,}4 \cdot 10^4$ Па, а температура воздуха $t = 60$ °С.

10.300. В сосуде находятся воздух и насыщенный водяной пар при температуре $t_0 = 100$ °С и давлении $p = 3p_0$, где $p_0 = 10^5$ Па — атмосферное давление. Каким будет давление в сосуде при понижении температуры до $t = 10$ °С? Давлением насыщенных паров воды при $t = 10$ °С пренебречь.

10.301. В воздухе с относительной влажностью $\varphi = 40\%$ давление паров воды $p = 1040$ Па. Чему равно давление насыщенного пара при той же температуре?

10.302. Какова масса водяных паров воздуха объемом $V = 1$ м^3 в летний день при температуре $t = 30$ °С и относительной влажности $\varphi = 75\%$?

10.303. В помещении объемом $V = 18$ м^3 при температуре $t = 20$ °С относительная влажность воздуха $\varphi = 60\%$. Определить давление насыщенных водяных паров при этой температуре, если известно, что масса испарившейся в помещении воды $m = 310$ г.

10.304. В комнате объемом $V = 30$ м^3 воздух имеет температуру $t = 20$ °С и относительную влажность $\varphi_1 = 20\%$. Какую массу воды нужно испарить в этой комнате, чтобы относительная влажность достигала $\varphi_2 = 50\%$? Температура в комнате не меняется.

10.305. В сосуд объемом $V = 10$ дм^3 поставили блюдце с водой. После этого сосуд герметично закрыли и оставили при температуре $t = 20$ °С. Оцените испарившуюся часть воды, если ее первоначальная масса $m = 1$ г. Объемом блюдца пренебречь.

10.306. В комнате объемом $V = 60$ м^3 температура воздуха повысилась от $t_1 = 17$ °С до $t_2 = 21$ °С, влажность увеличилась с $\varphi_1 = 40\%$ до $\varphi_2 = 60\%$. Какая масса воды испарилась в воздух? Давление насыщенных паров воды при температуре $t_1 = 17$ °С $p_{н1} = 1{,}94$ кПа, при температуре $t_2 = 21$ °С — $p_{н2} = 2{,}49$ кПа.

10.307. Нужно подать в помещение воздух объемом $V = 20\,000$ м^3 при температуре $t = 17$ °С и относительной влажности $\varphi_1 = 50\%$, забирая

его с улицы при температуре $t_2 = 10$ °C и относительной влажности $\varphi_2 = 60\%$. Воду какой массы надо дополнительно испарить в подаваемый воздух?

10.308. В подвале при температуре $t = 10$ °C относительная влажность воздуха $\varphi_1 = 100\%$. На сколько градусов надо повысить температуру воздуха в подвале, чтобы влажность уменьшилась до $\varphi_2 = 52{,}4\%$?

10.309. Смешали воздух объемом $V_1 = 1$ м^3 при относительной влажности $\varphi_1 = 20\%$ и воздух объемом $V_2 = 2$ м^3 при относительной влажности $\varphi_2 = 30\%$, взятых при одинаковых температурах. Смесь занимает объем $V = 3$ м^3. Определить ее относительную влажность.

10.310. При температуре $t = 60$ °C абсолютная влажность воздуха $\varphi = 11{,}5 \cdot 10^{-3}$ кг/м^3. Определить абсолютную влажность воздуха после понижения температуры до значения $t_1 = 20$ °C; $t_2 = 10$ °C.

10.311. Какова плотность насыщенного пара воды при температуре $t = 100$ °C?

10.312. В закрытом сосуде объемом $V = 1$ м^3 при температуре $t = 20$ °C находится воздух с относительной влажностью $\varphi = 30\%$. Чему станет равна относительная влажность воздуха после добавления в сосуд воды массой $m = 20$ г? Температура поддерживается постоянной.

10.313. Сухой воздух заполняет закрытый сосуд объемом $V = 25$ л при давлении $p_1 = 10^5$ Па и температуре $t_1 = -23$ °C. В сосуд кладут кусок льда массой $m = 9$ г и нагревают сосуд до температуры $t_2 = 127$ °C. Определить давление влажного воздуха в сосуде. Давление насыщенных водяных паров при 127 °C $p_н = 250$ кПа.

10.314. Что легче: 1 м^3 сухого воздуха или 1 м^3 влажного воздуха?

10.315. Определить отношение плотностей воздуха с влажностью $\varphi = 90\%$ и сухого воздуха при давлении $p = 10^5$ Па и температуре $t = 27$ °C. Плотность насыщенных паров воды при этой температуре $\rho = 0{,}027$ кг/м^3.

10.316. При температуре $t = 20$ °C и давлении $p = 195$ Н/м^2 воздух имеет относительную влажность $\varphi = 100\%$. На сколько процентов он легче сухого воздуха той же температуры с тем же давлением?

10.317. В сосуде емкостью $V = 10$ л находится сухой воздух при температуре $t_1 = 0$ °C и давлении $p_1 = 0{,}1$ МПа. Каким будет давление в этом сосуде, если туда налить воду массой $m = 2$ г и нагреть сосуд до температуры $t_2 = 100$ °C?

10.318. Температура воздуха $t = 2$ °С, относительная влажность $\varphi = 60\%$. *Выпадет ли иней, если температура снизится до −3 °С?*

10.319. Температура воздуха $t = 25$ °С, относительная влажность $\varphi = 95\%$. При какой температуре можно ожидать появление тумана?

10.320. Как объяснить образование облачного следа за реактивным самолетом, летящим на большой высоте?

10.321. Какое количество росы выпадет при уменьшении объема воздуха в $n = 4$ раза, если начальный объем его $V = 1$ м^3, температура $t = 20$ °С и влажность $\varphi = 50\%$. Температура постоянна.

10.322. В запаянной трубке объемом $V = 0{,}4$ дм^3 находится водяной пар при давлении $p_1 = 8$ кПа и температуре $t_1 = 150$ °С. Какая масса воды сконденсируется на стенках трубки при охлаждении ее до температуры $t_2 = 22$ °С? Давление насыщенного пара воды при $t_2 = 22$ °С равно $p_2 = 2{,}5$ кПа.

10.323. На какую высоту нужно поднять поршень, закрывающий сосуд с водой, чтобы вся вода испарилась? Толщина слоя воды равна d, плотность воды ρ, ее молярная масса M, давление насыщенного пара p. Температура воды и пара T поддерживается постоянной, воздуха в сосуде нет.

10.324. В цилиндре под поршнем находится разреженный влажный воздух при температуре 30 °С. Давление в цилиндре $p_1 = 10^4$ Па, относительная влажность $\varphi = 60\%$. Какое давление p_2 установится в цилиндре, если перемещением поршня уменьшить его объем в 3 раза, сохраняя при этом температуру постоянной? Объемом воды, появившимся в результате конденсации, пренебречь.

10.325. В цилиндре под поршнем в пространстве объемом $V_1 = 1{,}5$ л находятся воздух и насыщенный водяной пар при температуре $t_1 = 20$ °С. Какова будет относительная влажность воздуха в цилиндре, если объем уменьшить до $V_2 = 0{,}1$ л, а температуру повысить до $t_2 = 100$ °С?

10.326. Пористое тело было помещено для просушки под колокол вакуумного насоса. Давление под колоколом держалось на уровне $p = 6{,}5$ мм рт. ст. в течение $\tau = 1$ ч, после чего резко упало. Производительность насоса $q = 60$ л/мин. Установившаяся под колоколом температура $t = 5$ °С. Какое количество воды содержало тело?

10.327. В сосуде заключен воздух, имеющий температуру $t_1 = 10$ °С и относительную влажность $\varphi_1 = 60\%$. Абсолютная влажность воздуха, соот-

ветствующая насыщенному пару при этой температуре, $\rho_1 = 9{,}43$ г/м^3. Какой станет относительная влажность воздуха, если его нагреть до температуры $t_2 = 100$ °С и уменьшить при это объем в $\eta = 30$ раз?

10.328. В цилиндре под поршнем находится воздух при $t_1 = 100$ °С с относительной влажностью $\varphi_1 = 40\%$. Объем воздуха $V_1 = 100$ см^3. Цилиндр охлаждают до $t_2 = 20$ °С. Каким должен стать объем воздуха в цилиндре, чтобы роса на стенках не выпадала?

10.329. На некоторой высоте над поверхностью Земли слой воздуха объемом $V = 10^6$ м^3 имеет температуру $t_1 = 20$ °С при относительной влажности $\varphi = 70\%$. Воздух охладился до $t_2 = 10$ °С. Найти массу выпавшего дождя. Плотности насыщенного водяного пара при температурах t_1, t_2 соответственно $\rho_1 = 17{,}3$ г/м^3 и $\rho_2 = 9{,}4$ г/м^3.

10.330. При каких условиях рост абсолютной влажности воздуха может происходить при уменьшении его относительной влажности? Ответ обосновать.

10.331. После того как из плотно закрытого сосуда удалили воздух, сосуд на $n\%$ по объему заполнили водой и нагрели до температуры $t = 100$ °С. При этом в сосуде установилось давление $p = 9{,}8 \cdot 10^4$ Па. Определить значение $n\%$.

Влажность. Гидростатика

10.332. В торричеллиеву пустоту барометра попала капля воды и испарилась. Из-за этого барометр показывает вместо давления $p_0 = 760$ мм рт. ст. давление $p = 750$ мм рт. ст. Определить плотность водяных паров (абсолютную влажность), если температура $t = 20$ °С.

10.333. Пробирка длиной l, содержащая воздух и насыщенный водяной пар, касается открытым концом поверхности воды (рис. 10.62). Пробирку погружают в воду на половину, при этом поверхность воды в пробирке оказывается на глубине a. Найти давление насыщенного водяного пара. Температура постоянна, атмосферное давление p_0, плотность воды ρ.

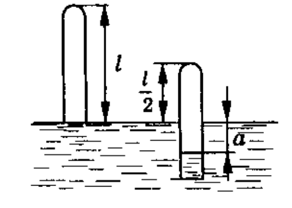


Рис. 10.62

10.334. Пробирка погружена в воду открытым концом на глубину, равную половине своей длины. Уровень воды в пробирке совпадает с уровнем воды в резервуаре, над водой находится воздух при атмосфер-

ном давлении. Начальная температура всей системы $T_1 = 273$ К. При какой максимальной длине пробирки воздух из нее начнет выходить, если температуру системы довести до $T_2 = 373$ К? Атмосферное давление $p_0 = 0,1$ МПа. Давлением паров воды при 0 °С пренебречь.

10.335. U-образная трубка заполнена водой так, что расстояние от уровней воды до верхних открытых концов трубки $h = 6$ м. Затем из одного колена трубки удаляют воздух, после чего оба открытых конца трубки запаивают. Какой будет разность уровней воды в коленах трубки, если температура $t_1 = 20$ °С, атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па? Как изменится разность уровней, если трубку нагреть до температуры $t_2 = 50$ °С?

10.336. В сообщающихся сосудах находится вода при температуре $t_0 = 0$ °С. Левый сосуд закрыт крышкой, правый открыт (рис. 10.63). Уровень воды в левом сосуде находится на расстоянии $h = 1$ см от крышки. Площадь сечения левого сосуда значительно меньше, чем площадь сечения правого сосуда. Начальное давление воздуха под крышкой равно атмосферному давлению $p_0 = 10^5$ Па. На сколько сместится уровень воды в левом сосуде, если воду и воздух нагреть до 100 °С (не доводя до кипения)? Тепловым расширением воды и сосудов, а так же давлением водяного пара при температуре $t = 0$ °С пренебречь.

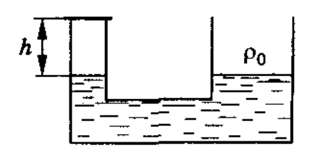


Рис. 10.63

10.337. Шар-зонд объемом $V = 1$ м^3 заполняют воздухом при температуре $T = 373$ К и давлении $p_0 = 10^5$ Па. На сколько отличаются подъемные силы двух таких шаров, если один заполнен сухим воздухом, а другой — влажным с относительной влажностью $\varphi = 0,3$?

10.338. В цилиндрическом сосуде под поршнем при температуре $t = 100$ °С находится насыщенный водяной пар. При изотермическом вдвигании поршня выделилось количество теплоты $Q = 180$ Дж. Найти совершенную при этом над паром работу.

10.339. В цилиндрическом сосуде при температуре $t = 90$ °С находится насыщенный водяной пар. При изотермическом сжатии пара совершается работа $A = 10$ Дж. Какое количество тепла при этом выделилось? Удельная теплота парообразования воды при 90 °С $r = 2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг. Воздуха в сосуде нет.

10.340. В сосуде объемом $V = 5$ м^3 при температуре $t = 20$ °С находится воздух относительной влажности $\varphi_0 = 20\%$. В сосуд ввели некото-

рое количество воды при температуре $t_1 = 0$ °С. Найти относительную влажность воздуха в сосуде после полного испарения воды, если температуру сосуда поддерживают $t = 20$ °С, а в процессе установления равновесия сосуду сообщено количество теплоты $Q = 58{,}4$ кДж.

10.341. В цилиндре под невесомым поршнем площадью $S = 100$ см^2 находится $m = 18$ г насыщенного водяного пара. В цилиндр впрыскивают $m = 18$ г воды при температуре $t_0 = 0$ °С. Куда и на сколько переместится поршень? Теплоемкостью и теплопроводностью цилиндра пренебречь. Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па.

10.342. В цилиндрическом сосуде под легким поршнем находится вода массой $m = 300$ г при температуре $t = 20$ °С. Воде сообщили количество теплоты $Q = 101{,}7$ кДж. На какую высоту поднимется поршень? Атмосферное давление $p = 10^5$ Па; площадь поршня $s = 5 \cdot 10^{-3}$ м^2.

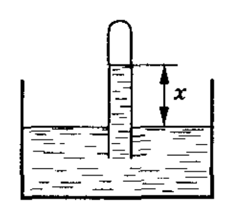


Рис. 10.64

10.343. В трубке над поверхностью воды находится смесь гелия и насыщенного водяного пара, имеющая объем $V = 30$ см^3 и температуру $t = 17$ °С. Высота столба воды в трубке (рис. 10.64) $x = 10$ см. Найти массы гелия m_1 и паров воды m_2 в трубке. Атмосферное давление $p_0 = 100$ кПа.

Поверхностное натяжение

10.344. Почему капля воды или масла растекается по поверхности доски, а капля ртути не растекается?

10.345. Стеклянную пластинку, подвешенную на нитке к динамометру, опустили до соприкосновения с поверхностью воды (рис. 10.65). Почему при попытке поднять пластинку приходится увеличивать усилие и почему вместе с пластинкой поднимается небольшой слой жидкости?

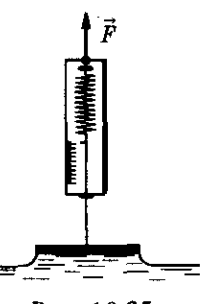


Рис. 10.65

10.346. Капелька ртути, помещенная на чистую горизонтальную поверхность стекла, принимает форму шара, а на бронзовой пластинке — растекается. Почему капелька ртути ведет себя в этих случаях по-разному?

10.347. Какое значение в жизни растений имеет явление смачивания?

10.348. Обычная швейная игла имеет длину $l = 3{,}5$ см и массу $m = 0{,}1$ г. Будет ли игла лежать на поверхности воды, если ее положить аккуратно?

10.349. С какой силой действует мыльная пленка на проволоку AB (рис. 10.66), если длина проволоки $l = 3$ см? На сколько изменится поверхностная энергия пленки при перемещении проволоки на $d = 2$ см? Коэффициент поверхностного натяжения $\sigma = 0,04$ Н/м.

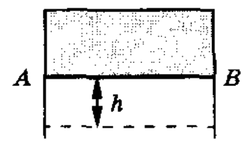


Рис. 10.66

10.350. Для определения коэффициента поверхностного натяжения воды была использована пипетка с диаметром выходного отверстия $d = 2$ мм. Оказалось, что $n = 40$ капель имеют массу $m = 1,9$ г. Каким по этим данным получится коэффициент поверхностного натяжения σ?

10.351. Из капельницы накапали равные массы сначала холодной воды при температуре $t_1 = 8$ °C, затем горячей воды при температуре $t_2 = 80$ °C. Как и во сколько раз изменился коэффициент поверхностного натяжения воды, если в первом случае образовалось $n_1 = 40$, а во втором $n_2 = 48$ капель?

10.352. В капиллярной трубке радиусом $R = 0,5$ мм жидкость поднялась на высоту $h = 11$ мм. Оценить плотность данной жидкости, если ее коэффициент поверхностного натяжения $\sigma = 22$ мН/м.

10.353. В дне сосуда со ртутью имеется круглое отверстие диаметром $d = 70$ мкм. При какой максимальной высоте слоя ртути h она еще не будет вытекать через отверстие?

10.354. В закрытом сосуде с воздухом при давлении p_0 находится мыльный пузырек диаметром d. Давление воздуха в сосуде изотермически уменьшили в n раз, в результате чего диаметр пузырька увеличился в η раз. Найти коэффициент поверхностного натяжения σ мыльной воды.

10.355. Найти давление в пузырьке воздуха диаметром $d = 4$ мкм, который находится в воде на глубине $h = 5$ м. Атмосферное давление нормальное.

10.356. Вертикальный капилляр длиной l с запаянным верхним концом привели в соприкосновение с поверхностью жидкости, после чего она поднялась на высоту h. Плотность жидкости ρ, диаметр внутреннего канала капилляра d, атмосферное давление p_0. Найти коэффициент поверхностного натяжения жидкости σ, считая смачивание полным.

10.357. На поверхности жидкости плавает погруженная на глубину h шайба радиусом R и высотой $2h$, не смачиваемая жидкостью. Плотность жидкости и шайбы одинакова и равна ρ. Поверхность жидкости соприкасается с боковой поверхностью шайбы. Определить коэффициент поверхностного натяжения жидкости σ.

10.358. Оценить, каким должно быть ускорение свободного падения g на планете, чтобы человек мог ходить по воде в обуви с несмачиваемыми водой подошвами.

10.359. Ртутный барометр имеет диаметр трубки $d = 3$ мм. Какую поправку x в показания барометра надо внести, если учитывать капиллярное опускание ртути? Коэффициент поверхностного натяжения ртути $\sigma = 510$ мН/м.

10.360. В двух капиллярных трубках разного диаметра, опущенных в воду, установилась разность уровней $\Delta h_1 = 2{,}6$ см. При опускании этих же трубок в спирт разность уровней оказалась $\Delta h_2 = 1$ см. Зная коэффициент поверхностного натяжения воды $\sigma_1 = 73$ мН/м, найти коэффициент поверхностного натяжения спирта σ_2.

10.361. На какую высоту h поднимается вода между параллельными пластинами, находящимися на расстоянии $d = 0{,}2$ мм друг от друга? Коэффициент поверхностного натяжения воды $\sigma = 73$ мН/м.

10.362. Капля ртути массой $m = 2$ г введена между параллельными стеклянными пластинами. Какую силу следует приложить, чтобы расплющить каплю до толщины $d = 0{,}1$ мм? Считать, что ртуть не смачивает стекло.

10.363*. Какую работу A надо совершить, чтобы надуть изотермически мыльный пузырь радиусом $R = 4$ см? Коэффициент поверхностного натяжения $\sigma = 40$ мН/м. Давление окружающего воздуха $p_0 = 10^5$ Па.

10.364. Какая энергия освобождается при слиянии мелких водяных капель радиусом $r = 2 \cdot 10^{-3}$ мм в одну каплю радиусом $R = 2$ мм? Коэффициент поверхностного натяжения воды $\sigma = 73$ мН/м.

10.365. В городе площадью $S = 400$ км^2 за $t = 10$ мин во время ливневого дождя выпало $h = 20$ мм воды. Подсчитать энергию и мощность тепловыделения от слияния капель во время дождя, если капли, достигшие поверхности Земли, имели диаметр $D = 3$ мм, а образовались из мелких капель диаметром $d = 3 \cdot 10^{-3}$ мм.

Молекулярная физика и термодинамика

Таблица 10

Формулы	Обозначения	Единицы измерения
I начало термодинамики: $\Delta Q = \Delta U + \Delta A$;	ΔQ — количество теплоты	1 Дж
$U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot RT$; $\Delta A = p\Delta V$	ΔU — изменение внутренней энергии	1 Дж
Теплоемкости: $C = \nu C_\mu = mc$;	ΔA — элементарная работа	1 Дж
	i — число степеней свободы	
$C_{\mu V} = \frac{i}{2} \cdot R$; $C_{\mu p} = C_{\mu V} + R$	m — масса	1 кг
	M — молярная масса	1 кг/моль
КПД тепловой машины: $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{A}{Q_1}$	R — газовая постоянная	8,31 Дж/моль · К
	p — давление	1 Па
	ΔV — изменение объема	
Цикл Карно: $\eta_{max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$	C — теплоемкость	1 Дж/К
	ν — число молей	
	C_μ — молярная теплоемкость	1 Дж/моль · К
	c — удельная теплоемкость	1 Дж/кг · К
	Q_1 — количество теплоты, получаемое машиной	
	Q_2 — количество теплоты, отдаваемое холодильнику	
	λ — уд. теплота плавления	1 Дж/кг
Холодильный коэффициент: $\varepsilon = \frac{Q_2}{A}$	r — уд. теплота парообразования	1 Дж/кг
Уравнение теплового баланса: $Q_{отд} = Q_{пол}$;	φ — относительная влажность	
$\Delta Q = cm\Delta t$ $(\Delta t = \Delta T)$;	ρ — абсолютная влажность	1 кг/м^3
$\Delta Q = \lambda m$; $\Delta Q = rm$	p — давление паров воды	1 Па
Влажность: $\varphi = \frac{\rho}{\rho_н} = \frac{p}{p_н}$	$\rho_н$, $p_н$ — плотность и давление насыщенных паров воды	

Тепловое расширение $l = l_0(1 + \alpha t)$ $V = V_0(1 + \beta t)$ $\beta = 3\alpha$	l — длина тела при t °C l_0 — длина тела при 0 °C α — коэффициент линейного расширения V — объем тела (жидкости) при t °C V_0 — объем тела (жидкости) при 0 °C β — коэффициент объемного расширения тел	1 м 1 К$^{-1}$
Поверхностное натяжение $\sigma = \frac{\Delta E}{\Delta S} = \frac{F}{l}$ $\Delta p = \sigma\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$ R_1 R_2	σ — коэффициент поверхностного натяжения E — энергия ΔS — площадь F — сила l — длина Δp — дополнительное давление R_1, R_2 — радиусы кривизны	1 Н/м 1 Дж 1 м^2 1 Н
Капилляр: $h = \frac{2\sigma\cos\alpha}{r\rho g}$	h — высота поднятия (опускания) жидкости α — угол ρ — плотность g — ускорение свободного падения h α r h α	1 м 1 кг/м^3 9,81 м/с^2

Электромагнетизм

11. Электростатика

Заряд. Дискретность заряда. Закон сохранения заряда

11.1. Почему при расчесывании волос пластмассовой расческой волосы как бы прилипают к ней?

11.2. Может ли при трении возникать электрический заряд только одного знака?

11.3. Как изменится масса шара, заряженного положительным зарядом, если к шару прикоснуться пальцем?

11.4. Как изменится масса шара, заряженного отрицательным зарядом, если к шару прикоснуться пальцем?

11.5. Заряд металлического шарика $q = -1{,}6$ нКл. Сколько на шарике избыточных электронов?

11.6. Сколько электронов было снято при трении со стеклянной палочки, если ее заряд $q = 8 \cdot 10^{-8}$ Кл?

11.7. Чему равен заряд металлического шара, если на нем $N = 4{,}0 \cdot 10^{10}$ избыточных электронов?

11.8. Какую долю валентных электронов нужно удалить с медного шарика объемом $V = 1$ см^3, чтобы получить на нем заряд $q = 1$ Кл? Валентность меди $n = 1$.

11.9. Два маленьких, одинаковых по размеру металлических шарика имеют заряды $q_1 = 6$ мкКл и $q_2 = -12$ мкКл. Каким станет суммарный заряд шариков, если их привести в соприкосновение?

11.10. Два маленьких, одинаковых по размеру металлических шарика имеют заряды $q_1 = -2$ мкКл и $q_2 = 4$ мкКл. Каким станет заряд каждого шарика, если их привести в соприкосновение, а потом вновь развести?

11.11. Два одинаковых металлических шарика с одноименными зарядами привели в соприкосновение. При этом заряд одного из шариков увеличился на $q = 40\%$. Найти отношение начальных зарядов шариков.

11.12. Почему рекомендуется в опытах по электростатике различные наэлектризованные тела подвешивать не на простых, а на шелковых нитях?

11.13. Металлический шар диаметром $d = 20$ см имеет заряд $q = 3{,}14 \cdot 10^{-7}$ Кл. Какова поверхностная плотность зарядов?

11.14. Определить величину заряда, переданного металлическому шару радиусом $R = 4$ см, если его поверхностная плотность зарядов оказалась $\sigma = 0{,}5 \cdot 10^{-4}$ Кл/м^2.

Закон Кулона

11.15. Найти силу взаимодействия двух зарядов[1], величиной $q = 1$ Кл каждый, находящихся на расстоянии $R = 1$ км друг от друга.

11.16. Среднее расстояние между двумя облаками $r = 10$ км. Электрические заряды их соответственно $q_1 = 10$ Кл и $q_2 = 20$ Кл. С какой силой взаимодействуют облака?

11.17. Найти силу электрического взаимодействия протона и электрона, находящихся на расстоянии $R = 10^{-8}$ см друг от друга.

11.18. Во сколько раз сила электрического отталкивания $F_э$ двух электронов больше силы гравитационного притяжения $F_г$ между ними?

11.19. На каком расстоянии друг от друга заряды $q_1 = 1$ мкКл и $q_2 = 10$ нКл взаимодействуют с силой $F = 9$ мН?

11.20. Два точечных заряда находятся на расстоянии r друг от друга. Во сколько раз изменится сила взаимодействия, если: а) увеличить один из зарядов в 3 раза; б) уменьшить оба заряда в 2 раза; в) увеличить расстояние между зарядами в 3 раза?

11.21. Во сколько раз надо изменить расстояние между зарядами при увеличении одного из них в 4 раза, чтобы сила взаимодействия осталась прежней?

11.22. Во сколько раз изменится сила, действующая между двумя точечными зарядами, если расстояние между ними увеличить на $\eta = 50\%$?

11.23. Два одинаковых заряда, $q = 5$ мкКл каждый, находятся в воздухе. Какой по величине заряд нужно перенести с одного заряда на другой, чтобы сила их взаимодействия уменьшилась в $n = 2{,}5$ раза?

---

[1] В задачах этого параграфа, если нет специальных оговорок, считать заряды точечными и находящимися в вакууме (воздухе).

11.24. Два заряда $q_1 = 40$ нКл и $q_2 = 100$ нКл расположены на расстоянии $r = 2$ см друг от друга. На сколько изменится сила, действующая на второй заряд, если знак первого заряда изменить на противоположный?

11.25. Две отрицательно заряженные пылинки находятся в воздухе на расстоянии $r = 2$ мм друг от друга и отталкиваются с силой $F = 9 \cdot 10^{-5}$ Н. Считая заряды пылинок одинаковыми, найти число избыточных электронов на каждой пылинке.

11.26. Два шарика, массой $m = 0{,}1$ г каждый, имеют одинаковые отрицательные заряды и в состоянии невесомости находятся в равновесии на любом расстоянии друг от друга, заметно превышающем их размеры. Определить число избыточных электронов на каждом шарике. Найти отношение массы избыточных электронов на шарике к массе шарика.

11.27. С какой силой будут взаимодействовать протоны и электроны, содержащиеся в медном шарике объемом $V = 1$ см^3, если их развести на расстояние $R = 1$ м? Число электронов в атоме меди $Z = 29$.

11.28. С какой силой взаимодействовали бы в вакууме два шарика из алюминия, массой $m = 1$ г каждый, находясь на расстоянии $R = 1$ м друг от друга, если бы суммарный заряд электронов отличался от суммарного заряда ядер над $\eta = 1\%$? Число электронов в атоме алюминия $Z = 13$.

11.29. Заряженные шарики, находящиеся на расстоянии $R = 2$ м друг от друга, отталкиваются с силой $F = 1$ Н. Общий заряд шариков $Q = 5 \cdot 10^{-5}$ Кл. Определить заряд каждого шарика.

11.30. Заряженный шарик приводят в соприкосновение с точно таким же незаряженным шариком. Находясь на расстоянии $r = 15$ см, шарики отталкиваются с силой $F = 1$ мН. Каков был первоначальный заряд заряженного шарика?

11.31. Два заряда $q_1 = 0{,}5$ мкКл и $q_2 = 1{,}5$ мкКл находятся на расстоянии $r = 10$ см друг от друга. Заряды привели в соприкосновение и раздвинули на прежнее расстояние. На сколько изменилась сила их взаимодействия?

11.32. Два маленьких одинаковых металлических шарика с зарядами $q_1 = 2$ мкКл и $q_2 = -4$ мкКл находятся на расстоянии $r = 30$ см друг от друга. На сколько изменится сила их взаимодействия, если шарики привести в соприкосновение и вновь развести на прежнее расстояние?

11.33. Два маленьких одинаковых по размеру шарика, находясь на расстоянии $R = 0{,}2$ м, притягиваются с силой $F_1 = 4 \cdot 10^{-3}$ Н. После того как шарики были приведены в соприкосновение и затем вновь

разведены на прежнее расстояние, они стали отталкиваться с силой $F_2 = 2{,}25 \cdot 10^{-3}$ Н. Определить первоначальные заряды шариков q_1 и q_2.

11.34. Два одинаковых маленьких металлических шарика притягиваются с некоторой силой. Шарики привели в соприкосновение и раздвинули на расстояние в $n = 2$ раза большее, чем прежде. При этом модуль силы взаимодействия уменьшился в $m = 5$ раз. Найти величину заряда первого шарика до соприкосновения, если второй имел заряд $q_1 = 1{,}6$ нКл.

11.35. Два одинаковых шарика, массой $m = 0{,}09$ г каждый, заряжены одинаковыми зарядами, соединены нитью и подвешены к потолку (рис. 11.1). Какой заряд должен иметь каждый шарик, чтобы натяжение нитей было одинаковым? Расстояние между центрами шариков $R = 0{,}3$ м. Чему равно натяжение каждой нити?

11.36. Шарик массой $m = 4$ г, несущий заряд $q_1 = 278$ нКл, подвешен на нити. При приближении к нему заряда q_2 противоположного знака (рис. 11.2) нить отклонилась на угол $\alpha = 45°$ от вертикального направления. Найти модуль заряда q_2, если расстояние $r = 6$ см.

11.37. Два одинаковых небольших шарика, массой $m = 0{,}1$ г каждый, подвешены в одной точке на одинаковых нитях длиной $l = 25$ см. Шарикам сообщили одинаковые заряды, после чего они разошлись на расстояние $x = 5$ см. Определить модуль заряда, сообщенного каждому шарику.

11.38. На шелковых нитях, образующих угол $\alpha = 60°$, подвешен заряженный шарик массой $m = 10^{-3}$ кг. Снизу к нему подносят другой такой же шарик с таким же зарядом (рис. 11.3), в результате чего натяжение нити уменьшается в $n = 2$ раза. Расстояние между центрами шариков $r = 1$ см. Определить заряд каждого шарика и натяжение нити в этом случае.

11.39. Шарики A и B, массой $m = 0{,}1$ кг каждый, имеют одинаковые по модулю и противоположные по знаку заряды $q = 10$ мкКл. Шарик A подвешен на непроводящей пружине жесткостью $k = 9{,}8$ Н/м над шариком B (рис. 11.4). В начальном положении сила кулоновского взаимо-

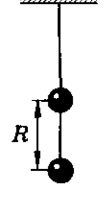




Рис. 11.1

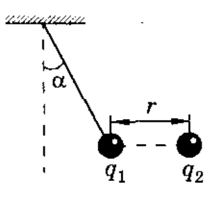


Рис. 11.2

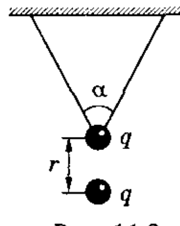


Рис. 11.3

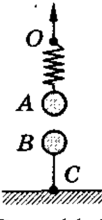


Рис. 11.4

действия между шариками равна $4mg$. Верхний конец пружины медленно поднимают. На сколько надо переместить точку O, чтобы натяжение шелковой нити BC стало равным нулю?

11.40. Два одинаковых заряда q, соединенные резиновыми шнурами со стенками так, как показано на рисунке 11.5, находятся на расстоянии $2a$ друг от друга. Расстояние между стенками $2l$, длина каждого недеформированного шнура l. Определить жесткость шнура. Массой зарядов пренебречь.

11.41. Внутри гладкой сферы диаметром d находится маленький заряженный шарик. Какой минимальной величины заряд Q нужно поместить в нижней точке сферы, для того чтобы шарик находился в ее верхней точке в устойчивом равновесии (рис. 11.6)? Заряд шарика q, его масса m.

11.42. Два заряженных шарика соединены нитью длиной $l = 10$ см. Отношение масс шариков $\frac{m_1}{m_2} = 2$, заряды по модулю одинаковы $|q| = 10^{-7}$ Кл, но противоположны по знаку. Какую минимальную внешнюю силу F надо приложить к шарику массой m_1, чтобы в процессе движения нить не провисала?

11.43. Вокруг положительного неподвижного заряда $Q = 10^{-8}$ Кл движется по окружности отрицательный заряд. Радиус окружности $R = 1$ см. Один оборот заряд совершает за $t = 2\pi$ с. Найти отношение заряда к массе $\left|\frac{q}{m}\right|$ для движущегося заряда.

11.44. Электрон в атоме водорода движется вокруг протона по круговой орбите радиусом $R = 0{,}53 \cdot 10^{-8}$ см. С какой скоростью он движется?

11.45. Шарик массой m и зарядом q, подвешенный на непроводящей нити длиной l, вращается вокруг вертикальной оси так, что нить образует с вертикалью угол α (рис. 11.7). Определить период обращения шарика и силу натяжения нити, если неподвижный точечный заряд q находится:

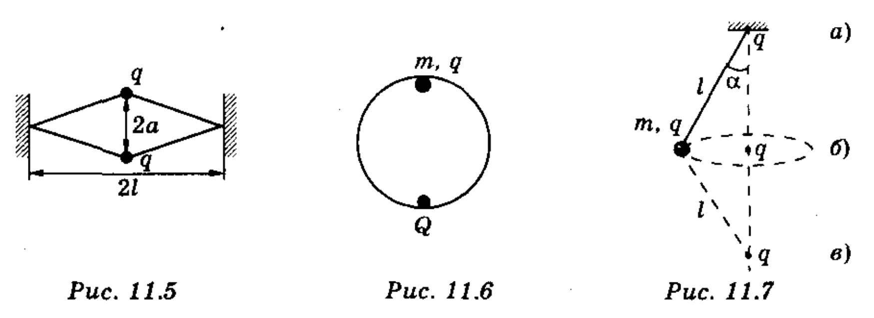


Рис. 11.5 Рис. 11.6 Рис. 11.7

а) в точке подвеса нити; б) в центре окружности, описываемой шариком; в) на оси вращения, на расстоянии l от шарика внизу.

11.46*. Два электрона находятся в точках, определяемых радиус-векторами $\vec{r}_1 = 2\vec{i} + 2\vec{j}$ и $\vec{r}_2 = 3\vec{i} - 2\vec{j}$ соответственно. Вычислить ускорение, сообщаемое одним электроном другому.

11.47. Два точечных заряда q и $4q$ находятся на расстоянии l друг от друга. Какой заряд нужно поместить и на каком расстоянии от первого заряда, чтобы вся система находилась в равновесии? Будет ли равновесие устойчивым?

11.48. Три точечных заряда $q_1 = 0{,}9 \cdot 10^{-6}$ Кл, $q_2 = 0{,}5 \cdot 10^{-7}$ Кл и $q_3 = 0{,}3 \cdot 10^{-6}$ Кл расположены последовательно вдоль одной прямой и связаны двумя нитями, длиной $l = 0{,}1$ м каждая. Найти натяжение нитей, если заряд q_2 находится посередине.

11.49. Три одинаковых шарика, расположенных вдоль одной прямой, соединили вместе двумя одинаковыми пружинами, жесткостью k каждая. Расстояние между крайними шариками l_0. Затем всем шарикам сообщили одинаковый заряд, при этом расстояние между крайними шариками стало l. Найти величину заряда q, сообщенного каждому шарику.

11.50. Электрическое поле образовано двумя зарядами $q_1 = 5 \cdot 10^{-4}$ Кл и $q_2 = -5 \cdot 10^{-4}$ Кл, расположенными на расстоянии $R = 10$ см друг от друга в точках A и B (рис. 11.8). Какая сила будет действовать на капельку C, находящуюся на расстоянии $r = 5$ см от середины отрезка AB, если заряд капельки равен заряду $N = 10$ электронов?

11.51. На концах невесомого непроводящего стержня длиной l находятся два невесомых шарика с зарядами q_1 и $q_2 = -q_1$. На перпендикуляре, проведенном через середину стержня, на расстоянии d от основания перпендикуляра расположен точечный заряд Q (рис. 11.9). Определить вращающий момент, действующий на стержень.

11.52. Одноименные заряды $q_1 = 0{,}2$ мкКл, $q_2 = 0{,}5$ мкКл и $q_3 = 0{,}4$ мкКл расположены в вершинах треугольника (рис. 11.10) со сторонами $a = 4$ см, $b = 5$ см и $c = 7$ см. Определить модуль силы, действующей на заряд q_3.

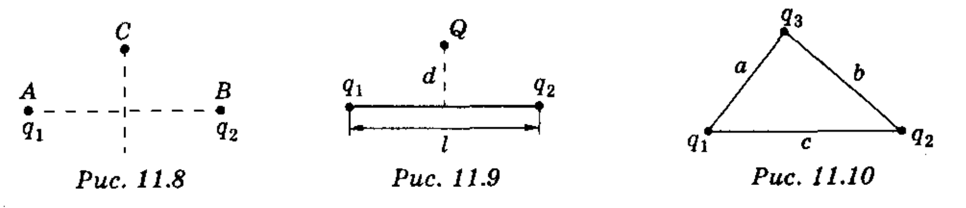


Рис. 11.8 Рис. 11.9 Рис. 11.10

11.53. Три точечных заряда $q = 10$ мкКл, $2q$ и $-3q$ расположены на окружности радиусом $R = 30$ см так, как показано на рисунке 11.11. Найти модуль и направление (угол с горизонтом) силы, действующей на заряд q со стороны двух других.

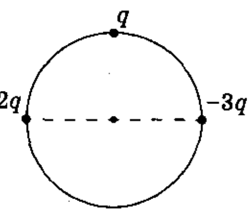
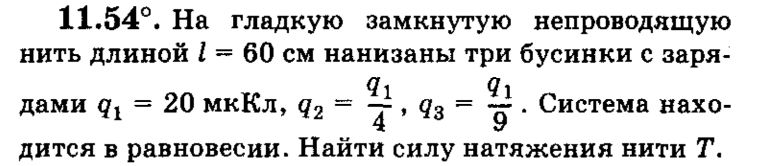


Рис. 11.11

11.54°. На гладкую замкнутую непроводящую нить длиной $l = 60$ см нанизаны три бусинки с зарядами $q_1 = 20$ мкКл, $q_2 = \frac{q_1}{4}$, $q_3 = \frac{q_1}{9}$. Система находится в равновесии. Найти силу натяжения нити T.



11.55. Три шарика соединены между собой одинаковыми резиновыми шнурами так, что получился правильный треугольник. Система лежит на гладком горизонтальном столе. Какие одинаковые заряды надо сообщить шарикам, чтобы площадь треугольника увеличилась в 4 раза? Коэффициент жесткости каждого шнура k, начальная длина l.

11.56°. Три одинаковых маленьких шарика, массой $m = 10^{-4}$ кг каждый, подвешены в одной точке на одинаковых нитях длиной $l = 0{,}2$ м. Какие заряды нужно сообщить шарикам, чтобы каждая нить составила с вертикалью угол $\alpha = 30°$?

11.57. Три одинаковых шарика, массой $m = 10$ г каждый, соединены нитями одинаковой длины $l = 10$ см и лежат на гладком столе. Два шарика имеют заряд $q = 10^{-7}$ Кл каждый, а третий шарик — такой же, но отрицательный заряд. К шарику с отрицательным зарядом приложили силу, перпендикулярную нити, соединяющей положительные заряды (рис. 11.12). Под действием силы вся система движется ускоренно, при этом натяжение всех нитей одинаково. Найти ускорение системы. Силой тяжести шариков пренебречь.

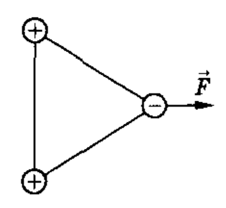


Рис. 11.12

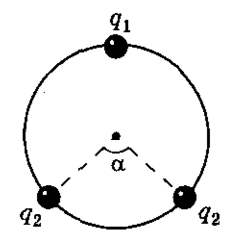


Рис. 11.13

11.58°. По кольцу, расположенному горизонтально, могут свободно перемещаться три шарика (рис. 11.13). Заряд первого шарика $+q_1$, второго и третьего — $+q_2$ каждый. Чему равно отношение зарядов $\frac{q_1}{q_2}$, если при равновесии дуга между зарядами $+q_2$ составляет $\alpha = 60°$?

11.59°. Два маленьких шарика, заряженные равными, но разноименными зарядами Q, закреплены в горизонтальной плоскости на расстоянии l друг от друга, третий шарик, заряд которого q, подвешен на нити. Точку подвеса один раз помещают так, что этот шарик в состоянии равновесия оказывается точно над первым закрепленным шариком на расстоянии l от него, в другой раз — над вторым. Найти угол отклонения нити от вертикали в обоих случаях, если известно, что над первым шариком угол отклонения нити в 2 раза больше, чем над вторым.

11.60. В центре равностороннего треугольника находится заряд $q = 0{,}58$ мкКл. Какие одинаковые заряды следует поместить в вершинах треугольника, чтобы вся система находилась в равновесии?

11.61. В непроводящей сфере радиусом $R = 50$ см находятся четыре маленьких шарика, массой $m = 50$ г каждый. Какие по величине одноименные заряды нужно сообщить каждому шарику, чтобы в положении равновесия они расположились в углах квадрата со стороной R?

11.62. Четыре одинаковых заряда Q размещены в углах квадрата. Какой заряд q следует расположить в центре квадрата, чтобы вся система находилась в равновесии? Будет ли равновесие системы устойчивым?

11.63. Четыре положительных заряда связаны нитями одинаковой длины l, как показано на рисунке 11.14. Определить силу натяжения нити T, связывающей заряды Q.

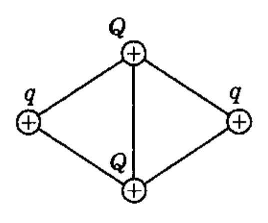


Рис. 11.14

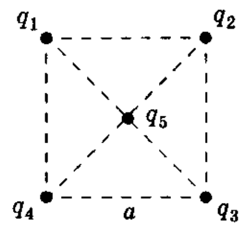


Рис. 11.15

11.64. Четыре заряда $q_1 = -1$ мкКл, $q_2 = -2$ мкКл, $q_3 = -3$ мкКл и $q_4 = -4$ мкКл расположены в вершинах квадрата со стороной $a = 0{,}1$ м (рис. 11.15). В центр квадрата помещен заряд $q_5 = 5$ мкКл. Найти силу, действующую на центральный заряд.

11.65. Тонкому проволочному кольцу радиусом R сообщен заряд q. В центре кольца расположен точечный заряд Q того же знака, причем $Q >> q$. Определить силу упругости, возникающую в кольце.

11.66. Проволочное кольцо радиусом R несет на себе электрический заряд q, при этом натяжение проволоки, из которой сделано кольцо, — T. Какой заряд Q нужно поместить в центр кольца, чтобы оно разорвалось? Проволока выдерживает максимальное натяжение T_m.

11.67. На оси заряженного проволочного кольца, по обе стороны от его центра, находятся два одноименных точечных заряда q (рис. 11.16). Если заряды поместить в точках на расстояниях, равных радиусу, то система оказывается в равновесии. Чему равен заряд кольца? Будет ли равновесие системы устойчивым? Тела системы способны двигаться только вдоль оси.

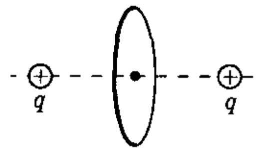


Рис. 11.16

11.68*. Представьте себе длинную цепочку одинаковых точечных зарядов, расположенных на прямой на одинаковых расстояниях друг от друга. а) Чему равна сила, действующая на первый заряд цепочки со стороны всех остальных? б) Как изменится эта сила, если знак каждого четного заряда изменить на противоположный? Величина каждого заряда q, расстояние между соседними зарядами r.

11.69. Секундный маятник (T_1 = 1 с) состоит из шарика массой m = 16 г, подвешенного на шелковой нити. Шарик заряжают отрицательно, а под ним на расстоянии l = 50 см помещают другой шарик с таким же по модулю, но положительным зарядом. При этом период колебаний становится T_2 = 0,8 с. Вычислить силу взаимодействия между шариками и заряд каждого шарика.

11.70°. Горизонтальный желоб выгнут по цилиндрической поверхности: слева по радиусу R = 10 см, справа по радиусу $2R$ (рис. 11.17). На дне желоба находится бусинка массой m = 10 г и зарядом $q = 10^{-6}$ Кл, а в точке O — заряд $Q = 2 \cdot 10^{-6}$ Кл. Найти период малых колебаний бусинки.

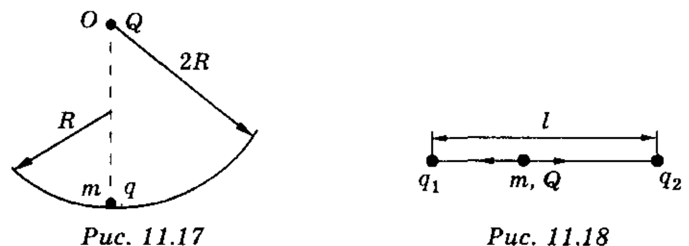


Рис. 11.17 *Рис. 11.18*

11.71°. На концах тонкого непроводящего горизонтального стержня длиной l = 1 м закреплены две маленькие бусинки, а третья надета на стержень, по которому она может перемещаться без трения. Всем бусинкам сообщают одинаковые заряды $q = 10^{-6}$ Кл. Найти период малых колебаний подвижной бусинки. Масса бусинки m = 5 г.

11.72. На концах гладкого непроводящего стержня длиной l = 60 см укреплены два заряда $q_1 = 10^{-7}$ Кл и $q_2 = 4q_1$ (рис. 11.18). По стержню без трения может скользить бусинка массой m = 10 г. Бусинке сообщают

заряд и выводят из положения равновесия. Период малых колебаний бусинки $T = 2{,}42$ с. Найти заряд, сообщенный бусинке.

11.73°. В центре кольца радиусом R, заряженного с линейной плотностью заряда γ, находится маленькая бусинка массой m и зарядом q, противоположным по знаку заряду кольца. Бусинку смещают вдоль перпендикуляра к плоскости кольца на расстояние $x << R$ и отпускают. Через какое время бусинка вернется в начальное положение?

11.74°. Два одноименных заряда ($q = 10^{-6}$ Кл) укреплены на расстоянии $2a = 20$ см друг от друга. Посередине между ними на тонком непроводящем стержне, перпендикулярном к линии, соединяющей заряды, находится бусинка массой $m = 2{,}5$ г, которая может скользить по стержню (рис. 11.19). Бусинке сообщают заряд Q. Циклическая частота малых колебаний бусинки $\omega = 120$ с$^{-1}$. Определить заряд Q. Силу тяжести не учитывать.



Рис. 11.19 *Рис. 11.20*

10.75*. Частица массой m и зарядом q движется вокруг закрепленного точечного заряда по эллиптической орбите. Минимальное расстояние между зарядом Q и частицей — r, а максимальное — R (рис. 11.20). Чему равен период обращения частицы вокруг заряда Q? (Для силы кулоновского взаимодействия, так же как для силы гравитационного взаимодействия, справедливы законы Кеплера.)

Напряженность электростатического поля

11.76. В каком случае напряженность электростатического поля в какой-либо точке и сила, действующая на пробный заряд в этой же точке, будут иметь противоположные знаки?

11.77. Определить знак заряда у проводников, изображенных на рисунке 11.21.

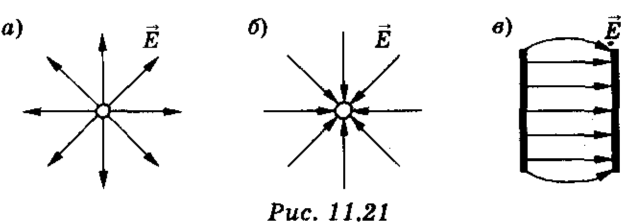


Рис. 11.21

11.78. На рисунке 11.22 показано электростатическое поле двух зарядов. Какой из этих зарядов больше?

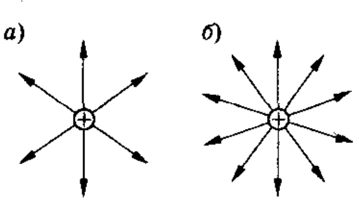


Рис. 11.22

11.79. Правильны ли следующие утверждения: а) силовые линии электростатического поля не могут быть замкнуты; б) если на тело действует только кулоновская сила, то тело должно двигаться вдоль силовой линии; в) силовые линии данного электростатического поля могут касаться или пересекаться друг с другом в какой-либо точке?

11.80. На заряд $Q = 2 \cdot 10^{-7}$ Кл в некоторой точке электрического поля действует сила $F = 0{,}015$ Н. Определить напряженность поля в этой точке.

11.81. На заряд, внесенный в некоторую точку электрического поля, напряженность которого $E = 100$ В/м, действует сила $F = 3{,}310^{-5}$ Н. Определить величину заряда.

11.82. Заряд $q = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл помещен в точку поля напряженностью $E = 300$ В/м. Чему равна сила, действующая на заряд?

11.83. Найти ускорение электрона a и силу F, действующую на него в однородном электрическом поле напряженностью $E = 2 \cdot 10^5$ В/м.

11.84. Чему равна напряженность поля заряда $q = 2{,}5 \cdot 10^{-8}$ Кл на расстоянии $r = 5$ см от него?

11.85. Радиус орбиты электрона в атоме водорода $r = 5 \cdot 10^{-11}$ м. Найти напряженность электрического поля ядра в точках орбиты электрона.

11.86. На каком расстоянии от заряда $q = 8 \cdot 10^{-6}$ Кл напряженность поля $E = 8 \cdot 10^5$ В/м?

11.87. Напряженность поля точечного заряда на расстоянии $R_1 = 20$ см от него $E_1 = 100$ В/м. Определить напряженность поля на расстоянии $R = 40$ см от заряда.

11.88. Вследствие стекания заряда напряженность электрического поля, создаваемого маленьким заряженным шариком на расстоянии $r = 30$ см от него, уменьшилась на $\Delta E = 100$ В/м. Как изменился заряд шарика?

11.89. Напряженность электрического поля, создаваемого зарядом на расстоянии $r = 10$ см от него, $E = 90$ В/м. На каком расстоянии от заряда напряженность электрического поля на $\Delta E = 30$ В/м меньше?

11.90. Заряд маленького шарика увеличивают на $\eta = 44\%$. Как и на сколько следует изменить расстояние от заряда до точки наблюдения, чтобы напряженность электрического поля в ней не изменилась? Первоначальное расстояние $r = 15$ см.

11.91. Заряд, создающий поле, уменьшили на $\eta_1 = 30\%$, расстояние до точки наблюдения увеличили на $\eta_2 = 20\%$. Как и на сколько процентов изменилась напряженность электрического поля?

11.92*. Заряд $q = 50$ мкКл находится на плоскости XOY в точке с радиус-вектором $\vec{r}_0 = 2\vec{i} + 3\vec{j}$. Найти вектор напряженности электрического поля и его модуль в точке с радиус-вектором $\vec{r} = 8\vec{i} - 5\vec{j}$.

11.93. Положительный заряд $q = 130$ нКл расположен в некоторой точке C плоскости XOY. При этом в точке A с координатами $(2, -3)$ напряженность электрического поля $E_A = 32{,}5$ В/м, а в точке B с координатами $(-3, 2)$ — $E_B = 45$ В/м. Найти координаты точки C, где расположен заряд.

11.94. В точке A напряженность электрического поля, создаваемого зарядом, $E_A = 36$ В/м, а в точке B — $E_B = 9$ В/м. Найти напряженность в точке C (рис. 11.23), расположенной посередине между точками A и B.

11.95. Напряженность электрического поля, созданного зарядом q_1, в точках A и B (рис. 11.24) соответственно $E_A = 0{,}2$ кВ/м и $E_B = 0{,}1$ кВ/м. Определить напряженность поля в точке C.



Рис. 11.23 Рис. 11.24

11.96. Построить график зависимости напряженности поля точечного заряда q от расстояния r до него.

11.97. Поле образовано двумя равными одноименными точечными зарядами, расположенными на некотором расстоянии друг от друга. Какова напряженность поля в точке, лежащей посередине между зарядами? Какой будет напряженность в этой же точке, если заряды будут разноименными?

11.98. Расстояние между одноименными зарядами q и nq ($n = 9$) равно $l = 8$ см. На каком расстоянии от первого заряда находится точка, в которой напряженность поля равна нулю?

11.99. Найти напряженность электрического поля в точке, находящейся посередине между точечными зарядами $q_1 = 8$ нКл и $q_2 = -6$ нКл. Расстояние между зарядами $r = 10$ см. В какой точке прямой, проходящей через оба заряда, напряженность электрического поля равна нулю?

11.100. Два заряда $q_1 = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл и $q_2 = 1{,}6 \cdot 10^{-7}$ Кл помещены на расстоянии $R = 5$ см друг от друга. Определить напряженность поля в точке, удаленной от первого заряда на $a = 3$ см и от второго на $b = 4$ см.

11.101. Электрическое поле создано двумя точечными зарядами $q_1 = 30$ нКл и $q_2 = -10$ нКл. Расстояние между зарядами $d = 20$ см. Определить напряженность электрического поля в точке, находящейся на расстоянии $r_1 = 15$ см от первого и $r_2 = 10$ см от второго заряда.

11.102. Электрическое поле создано двумя одинаковыми зарядами, находящимися на некотором расстоянии друг от друга. На таком же расстоянии от одного из них по прямой линии, проходящей через оба заряда, напряженность электрического поля $E = 0{,}25$ В/м. Определить напряженность электрического поля в точках пространства, находящихся на одинаковых расстояниях от зарядов, равных расстоянию между зарядами.

11.103. В двух противоположных вершинах квадрата со стороной $a = 30$ см находятся заряды по $q = 2 \cdot 10^{-7}$ Кл каждый (рис. 11.25). Найти величину напряженности поля в двух других вершинах квадрата.

Рис. 11.25

11.104°. Диполь образован двумя разноименными зарядами, по $q = 1$ нКл каждый. Расстояние между зарядами $d = 12$ см. Найти напряженность электрического поля: а) на продолжении оси диполя на расстоянии $r = 8$ см от его центра; б) на перпендикуляре к оси диполя, проведенном через ее середину, на том же расстоянии. Как убывает поле диполя при $r >> d$?

11.105. Нарисовать картину силовых линий электростатического поля, созданного двумя точечными зарядами, расположенными на некотором расстоянии друг от друга: а) $+q$, $+2q$; б) $+q$, $-2q$.

11.106. Три одинаковых положительных заряда ($q = 10^{-10}$ Кл) расположены в вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 0{,}05$ м. Найти напряженность поля в точке: а) являющейся центром описанной окружности; б) лежащей на середине любой из сторон.

11.107. Определить напряженность поля в центре правильного шестиугольника со стороной a, в вершинах которого расположены: а) шесть

равных одноименных зарядов; б) три положительных и три отрицательных, одинаковых по модулю заряда (одноименные заряды расположены рядом).

11.108°. В вершинах квадрата со стороной a расположены четыре одинаковых заряда q. Определить максимальную напряженность электрического поля на оси, проходящей через середину квадрата перпендикулярно его плоскости. На каком расстоянии от квадрата напряженность максимальна?

11.109°. Тонкое проволочное кольцо радиусом R имеет заряд q. Найти напряженность поля на оси кольца на расстоянии x от его центра (рис. 11.26). Построить график зависимости $E(x)$.

11.110. Тонкий стержень согнут в виде окружности радиусом $R = 0{,}5$ м так, что между его концами остался воздушный промежуток $d = 0{,}02$ м (рис. 11.27). По стержню равномерно распределен заряд $Q = 0{,}33 \cdot 10^{-9}$ Кл. Определить напряженность поля в центре окружности.

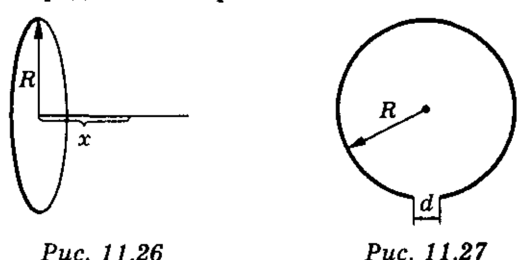


Рис. 11.26 *Рис. 11.27*

11.111. Незаряженный металлический цилиндр радиусом R вращается вокруг своей оси с постоянной угловой скоростью ω. Найти зависимость напряженности поля E в цилиндре от расстояния r до его оси. Построить график зависимости $E(r)$.

11.112. При напряженности электрического поля $E = 10^6$ В/м воздух перестает быть надежным изолятором и в нем происходит искровой разряд. Каким должен быть радиус металлического шара, чтобы на нем мог удержаться заряд $q = 1$ Кл?

11.113. Металлическому шару радиусом $R = 10$ см сообщен заряд $q = 10^{-7}$ Кл. Найти напряженность электрического поля на расстоянии $r_1 = 5$ см, $r_2 = 10$ см, $r_3 = 30$ см от центра сферы. Построить график зависимости $E(r)$.

11.114. Напряженность электрического поля на расстоянии $r = 20$ см от центра проводящей сферы радиусом $R = 10$ см $E_1 = 900$ В/м. На сколько нужно изменить заряд сферы, чтобы напряженность электрического поля вблизи ее поверхности стала $E_2 = E_1$?

11.115. Оценить среднюю плотность электрических зарядов в атмосфере, если известно, что напряженность электрического поля вблизи поверхности Земли $E_0 = 100$ В/м, а на высоте $h = 1{,}5$ км $E = 25$ В/м. Радиус Земли $R >> h$.

11.116*. Шар радиусом $R = 10$ см равномерно заряжен. Объемная плотность заряда $\lambda = 0{,}75 \cdot 10^{-4}$ Кл/м^3. Найти напряженность электрического поля на расстоянии $r_1 = 5$ см, $r_2 = 10$ см, $r_3 = 30$ см от центра сферы. Построить график зависимости $E(r)$.

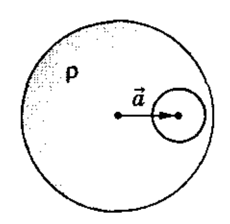


Рис. 11.28

11.117*. На каком расстоянии r_1 от центра шара радиусом R, равномерно заряженного по объему, напряженность электрического поля E равна напряженности поля вне шара на расстоянии $r_2 = 2R$?

11.118*. Внутри шара, заряженного равномерно, с объемной плотностью заряда ρ имеется сферическая полость (рис. 11.28). Центр полости смещен относительно центра шара на расстояние, характеризуемое вектором $\vec{a}$. Найти напряженность электрического поля внутри полости.

11.119*. Прямоугольная плоская рамка со сторонами $a = 0{,}03$ м и $b = 0{,}02$ м находится в однородном электрическом поле напряженностью $E = 2 \cdot 10^4$ В/м. Рамка ориентирована так, что линии напряженности составляют угол $\alpha = 30°$ с плоскостью рамки. Найти поток вектора напряженности через рамку.

11.120*. Прямоугольная плоская рамка со сторонами $a = 0{,}03$ м и $b = 0{,}02$ м находится на некотором расстоянии от бесконечной заряженной плоскости с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 2 \cdot 10^{-6}$ Кл/м^2. Рамка ориентирована так, что линии напряженности составляют угол $\alpha = 30°$ с плоскостью рамки. Найти поток вектора напряженности через рамку.

11.121. Определить напряженность электрического поля, которую создает бесконечная заряженная плоскость с поверхностной плотностью заряда σ. Зависит ли напряженность поля плоскости от расстояния до плоскости?

11.122. Вблизи равномерно заряженной плоскости с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 5$ мкКл/м^2 находится маленький шарик с зарядом $q = 1{,}77$ мкКл (рис. 11.29). На сколько изменится сила, действующая на шарик, если его из положения *1* перенести в положение *2*?

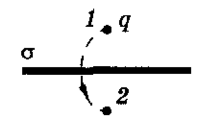


Рис. 11.29

11.123. Вблизи равномерно заряженной плоскости с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 30$ нКл/м^2 находится маленький шарик с зарядом $q = 15$ мкКл. На сколько изменится сила, действующая на заряд, если повернуть плоскость так, как показано на рисунке 11.30?

11.124. Электрическое поле образовано внешним однородным полем и полем заряженной металлической пластины (которое можно считать однородным) (рис. 11.31). Напряженность электрического поля над пластиной $E_2 = 2 \cdot 10^4$ В/м, а под ней $E_1 = 5 \cdot 10^4$ В/м. Оценить заряд пластины, если сила, действующая на пластину со стороны внешнего поля, $F = 0{,}7$ Н.

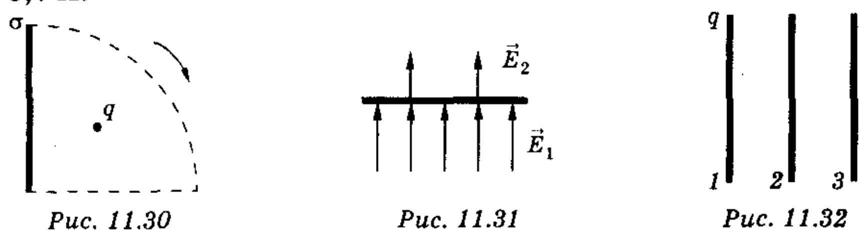


Рис. 11.30 Рис. 11.31 Рис. 11.32

11.125. Две равномерно заряженные параллельные пластины находятся в вакууме на небольшом расстоянии от друг от друга. Напряженность поля в некоторой точке A между пластинами $E_A = 500$ В/м, а в точке B вблизи внешней стороны одной из пластин — $E_B = 300$ В/м. Определить поверхностную плотность зарядов каждой пластины.

11.126. Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными пластинами, на которых равномерно распределены заряды с поверхностной плотностью $\sigma_1 = 2$ нКл/м^2 и $\sigma_2 = -5$ нКл/м^2. Построить график зависимости напряженности поля $E = f(x)$, где x — координата, откладываемая по оси, перпендикулярной пластинам.

11.127. Три металлические пластины, заряженные положительно, расположены параллельно друг другу так, как показано на рисунке 11.32. Заряд левой пластины q. Сила, действующая на среднюю пластину, F_1. Если правую пластину убрать, то сила, действующая на среднюю пластину, станет равной F_2. Найти заряды средней и правой пластин. Площадь каждой пластины S. Поле, создаваемое пластинами, считать однородным.

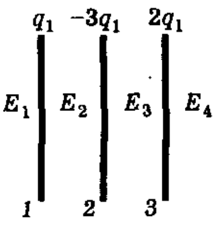


Рис. 11.33

11.128. Три металлические пластины, имеющие заряды $q_1 = 0{,}1$ нКл, $q_2 = -3q_1$ и $q_3 = 2q_1$, расположены параллельно друг другу на одинаковых расстояниях так, как показано на рисунке 11.33. Площадь каждой пластины $S = 100$ см^2. Расстояние между пластинами

много меньше их длины. а) Найти напряженность электрического поля вне пластин и между ними. Построить график зависимости $E = f(x)$, где x — координата, откладываемая по оси, перпендикулярной пластинам. б) Определить силы действующие на каждую пластину.

11.129. Три металлические пластины, имеющие заряды $2q$, q и $-q$, расположены параллельно друг другу. На сколько изменится сила, действующая на среднюю пластину, если правую переместить так, как показано на рисунке 11.34. Поле, создаваемое каждой пластиной, считать однородным. Площадь каждой пластины S.

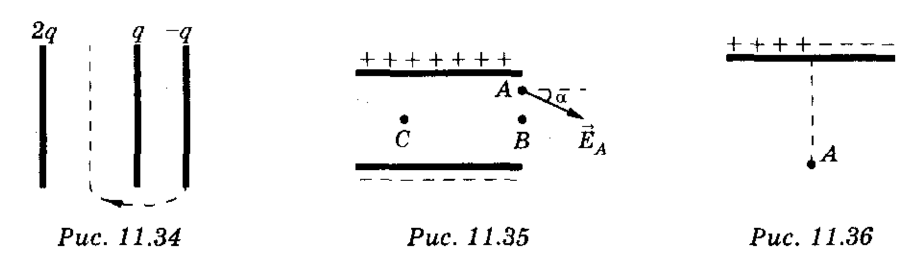


Рис. 11.34 Рис. 11.35 Рис. 11.36

11.130. Две параллельные полубесконечные плоскости заряжены равномерно с одинаковой поверхностной плотностью заряда, причем одна из полуплоскостей заряжена положительно, а другая — отрицательно. В точке A у края плоскости (рис. 11.35) напряженность поля E_A составляет угол α с плоскостью. Определить напряженность поля в точках B и C.

11.131. Левая полуплоскость безграничной плоскости равномерно заряжена положительным зарядом, правая полуплоскость — отрицательным зарядом с той же поверхностной плотностью. Напряженность результирующего поля в точке A (рис. 11.36) равна E_1, а если убрать одну из полуплоскостей, то напряженность поля в точке A станет равной E_2. Определить поверхностную плотность зарядов полуплоскостей σ.

11.132. Поле создается двумя бесконечными плоскостями с поверхностной плотностью зарядов $\sigma_1 = 2 \cdot 10^{-7}$ Кл/м^2 и $\sigma_2 = 4{,}2 \cdot 10^{-7}$ Кл/м^2 соответственно, расположенными под прямым углом друг к другу. Определить: а) напряженность поля; б) изобразить силовые линии этого поля.

11.133. Две равномерно заряженные пластины, поверхностная плотность зарядов которых σ и -2σ, расположены под углом $\alpha = 60°$ друг к другу. Между ними помещен точечный заряд (рис. 11.37). Под каким углом к нижней пластине следует расположить третью пластину, чтобы заряд оказался в равновесии? Найти поверхностную плотность заряда третьей пластины. Рассмотреть возможные варианты.

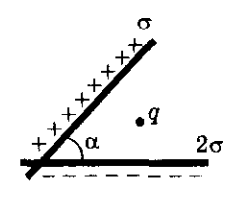


Рис. 11.37

11.134. Три равномерно заряженные пластины расположены так, как показано на рисунке 11.38. Пластины перпендикулярны плоскости рисунка и образуют в сечении прямоугольный равнобедренный треугольник. Плоскости-катеты имеют одинаковую поверхностную плотность заряда σ = 1,6 нКл/м^2. Между плоскостями в равновесии находится маленький шарик с зарядом q = 4 мкКл. На сколько изменится сила, действующая на шарик, если его перенести в положение *2*?

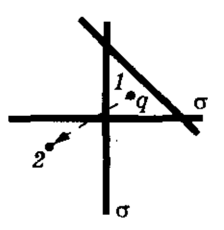


Рис. 11.38

11.135. Металлический прямоугольный куб со стороной d движется с ускорением a в направлении, перпендикулярном одной из его сторон (рис. 11.39). Оценить напряженность электрического поля E в кубе, возникающую вследствие его ускоренного движения, и поверхностную плотность электрических зарядов σ, появляющихся на сторонах куба, перпендикулярных ускорению.

11.136. Тонкая металлическая пластина массой m падает плашмя в воздухе так, что ее поверхности горизонтальны. Средняя сила сопротивления движению F (рис. 11.40). Определить напряженность электрического поля E, возникающего в этой пластине. При каком условии напряженность поля в пластине будет равна нулю?

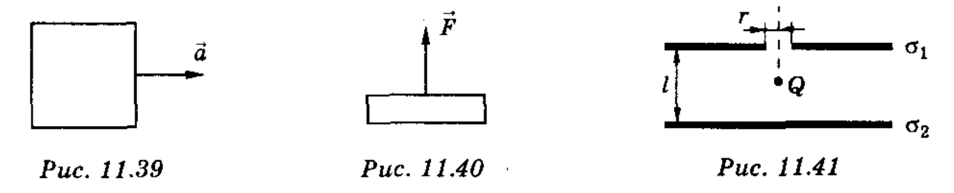


Рис. 11.39 *Рис. 11.40* *Рис. 11.41*

11.137. В однородном электрическом поле с напряженностью E = = 245 В/см находится в равновесии пылинка массой $m = 4 \cdot 10^{-7}$ г. Определить заряд пылинки и число избыточных электронов на ней. Каково направление силовых линий поля?

11.138. Две бесконечные параллельные пластины имеют поверхностную плотность заряда σ_1 и σ_2 соответственно. Расстояние между пластинами l = 5 см. Посередине между ними расположен точечный невесомый заряд Q (рис. 11.41). В первой пластине непосредственно над точечным зарядом имеется отверстие радиусом r = 1 мм. На сколько процентов должны отличаться поверхностные плотности зарядов на пластинах, чтобы точечный заряд находился в равновесии?

11.139. Пылинка массой m, обладающая зарядом q, движется в однородном электрическом поле вертикально вверх с ускорением a. Определить напряженность электрического поля E. Сопротивление воздуха не учитывать.

11.140. На сколько изменится ускорение тела, падающего на землю, если ему сообщить заряд $q = 4 \cdot 10^{-8}$ Кл? Масса тела $m = 5$ г. Напряженность электрического поля Земли у ее поверхности $E = 100$ В/м. Сопротивление воздуха не учитывать.

11.141. Электрон влетает в однородное электрическое поле со скоростью $v = 10^5$ м/с. Вектор скорости направлен в сторону, противоположную направлению силовых линий. Область поля протяженностью $l = 1{,}1$ м он пролетает за время $t = 10^{-6}$ с. Определить напряженность поля.

11.142. Электрон движется в направлении силовой линии однородного электрического поля, напряженность которого $E = 100$ В/м. Какое расстояние пролетит он до полной остановки, если начальная скорость электрона $v = 10^6$ м/с? Сколько времени он будет двигаться до полной остановки?

11.143. В пространство, где одновременно действуют горизонтальное и вертикальное однородные электрические поля напряженностью $E_1 = 4 \cdot 10^2$ В/м и $E_2 = 3 \cdot 10^2$ В/м соответственно, вдоль направления силовой линии результирующего поля влетает электрон, скорость которого на пути $s = 2{,}7$ мм изменяется в $n = 2$ раза. Определить скорость электрона в конце пути.

11.144. Частица массой $m = 10^{-12}$ кг и зарядом $q = -2 \cdot 10^{-11}$ Кл влетает в однородное электрическое поле напряженностью $E = 40$ В/м под углом $\varphi = 120°$ к его силовым линиям со скоростью $v_0 = 220$ м/с (рис. 11.42). Через какой промежуток времени частица сместится вдоль силовой линии на расстояние $\Delta h = 3$ м? Чему равна скорость частицы в этот момент времени?

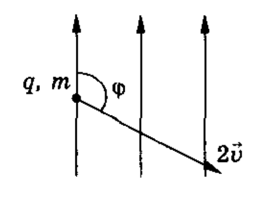


Рис. 11.42

11.145. Две заряженные материальные точки с зарядами $-q$ и $+Q$ и массами m и M соответственно движутся прямолинейно в однородном электрическом поле напряженностью E так, что расстояние между ними не меняется. Определить расстояние l между точками.

11.146. Вдоль силовой линии однородного электрического поля с напряженностью E движутся два шарика, связанные нитью. Шарики имеют массы m_1 и m_2 и противоположные по знаку заряды q_1 и q_2. Длина нити — l. Найти силу натяжения нити.

11.147. Тело массой m и зарядом $+q$ брошено с начальной скоростью v_0 под углом α к горизонту. Движение тела происходит одновременно в поле тяготения и однородном электрическом поле напряженностью E, силовые линии которого направлены вертикально вниз. Найти время полета, дальность полета и максимальную высоту подъема.

11.148. На какой угол α отклонится бузиновый шарик массой $m = 0{,}4$ г, подвешенный на шелковой нити, если его поместить в однородное горизонтальное поле напряженностью $E = 10^5$ В/м (рис. 11.43)? Заряд шарика $q = 4{,}9 \cdot 10^{-9}$ Кл.

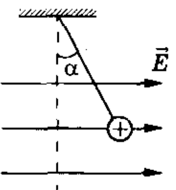


Рис. 11.43

11.149. Заряженный шарик, подвешенный на шелковой нити, находится во внешнем однородном электрическом поле, силовые линии которого горизонтальны. При этом нить образует угол $\alpha = 30°$ с вертикалью. На сколько изменится угол отклонения нити при стекании с шарика $\eta = 10\%$ начального заряда?

11.150. Конический маятник состоит из шелковой нити длиной l, на конце которой находится шарик массой m и зарядом $+q$. Маятник находится в однородном электрическом поле напряженностью E, направленном вертикально вниз. Определить угловую скорость вращения шарика ω и силу натяжения нити, если угол, образуемый нитью с вертикалью, равен α. Чему будет равна кинетическая энергия шарика?

11.151. В вертикальном однородном электрическом поле напряженностью $E = 10^5$ В/м на нити длиной $l = 2$ м находится шарик массой $m = 0{,}01$ кг, заряд которого $q = 1$ мкКл. Определить период малых колебаний маятника.

Потенциал поля. Работа сил электрического поля. Энергия поля

11.152. Найти работу сил электростатического поля при перемещении заряда $q = 7 \cdot 10^{-8}$ Кл в однородном электрическом поле из точки *1* в точку *2*, если: а) направление перемещения совпадает с направлением поля (рис. 11.44, *а*); б) направление перемещения составляет угол $\alpha = 60°$ с направлением силовых линий (рис. 11.44, *б*). Напряженность поля $E = 6 \cdot 10^5$ В/м, перемещение $s = 10$ см.

11.153. Доказать, что работа силы Кулона при перемещении заряда по замкнутому контуру *1—2—3—1* (рис. 11.45) равна нулю.

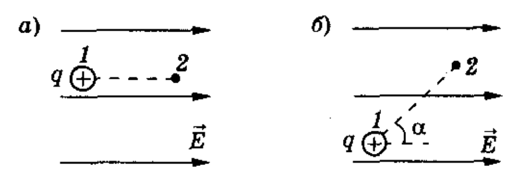




Рис. 11.44

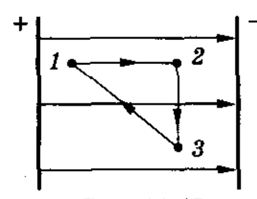
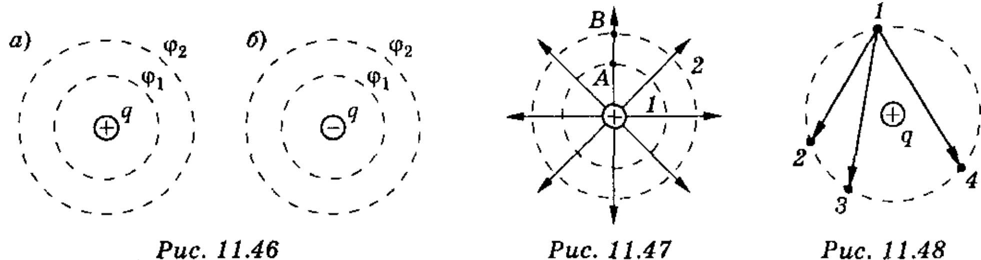


Рис. 11.45

11.154. При переносе заряда с земли в точку поля, потенциал которой $\varphi = 1000$ В, была произведена работа $A = 10^{-5}$ Дж. Найти величину заряда.

11.155. Напряженность однородного электрического поля между двумя параллельными пластинами $E = 10$ кВ/м, расстояние между ними $d = 5$ см. Найти напряжение между пластинами.

11.156. На рисунке 11.46, *а* показаны эквипотенциальные поверхности положительного заряда, на рисунке 11.46, *б* — отрицательного. Объяснить в каждом случае, какой потенциал больше — φ_1 или φ_2. Изобразить силовые линии электростатического поля в каждом случае.



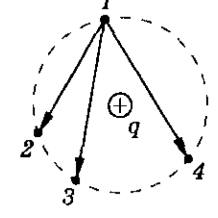


Рис. 11.46 Рис. 11.47 Рис. 11.48

11.157. На рисунке 11.47 показано электростатическое поле положительного заряда: силовые линии и две эквипотенциальные поверхности (*1* и *2*). В какой точке, *A* или *B*, напряженность поля больше? Что показывает направление напряженности поля? Как направлена напряженность к эквипотенциальной поверхности?

11.158. В электростатическом поле точечного заряда q из точки *1* (рис. 11.48) перемещали один и тот же заряд в точки *2*, *3*, *4*. Найти минимальную работу по перемещению заряда в каждом случае и сравнить их.

11.159. В электростатическом поле точечного заряда q из точки *1* (рис. 11.49) перемещали один и тот же заряд в точки *2*, *3*. Сравнить работы по перемещению заряда в обоих случаях.

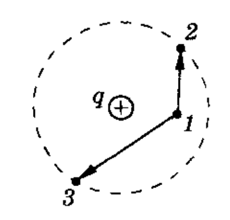


Рис. 11.49

11.160. Какую работу совершает поле при перемещении заряда $q = 20$ нКл из точки с потенциалом $\varphi_1 = 700$ В в точку с потенциалом $\varphi_2 = 200$ В? из точки с потенциалом $\varphi_1 = -100$ В в точку с потенциалом $\varphi_2 = 400$ В?

11.161. В однородном электрическом поле напряженностью $E = 1$ кВ/м переместили заряд $q = -25$ нКл в направлении силовой линии на расстояние $\Delta r = 2$ см. Найти работу поля, изменение потенциальной энергии взаимодействия заряда и поля и напряжение между начальной и конечной точками перемещения.

11.162. В однородном поле напряженностью $E = 60$ кВ/м переместили заряд $q = 5$ нКл. Перемещение $\Delta r = 20$ см образует угол $\alpha = 60°$ с направлением силовой линии. Найти работу поля, изменение потенциальной энергии взаимодействия заряда и поля, напряжение между начальной и конечной точками перемещения, а также разность потенциалов между ними.

11.163. Под действием электрического поля электрон переместился из точки с потенциалом $\varphi_1 = 200$ В в точку с потенциалом $\varphi_2 = 300$ В. Найти кинетическую энергию электрона, изменение потенциальной энергии взаимодействия с полем и приобретенную скорость. Начальную скорость электрона считать равной нулю.

11.164. Электрон под действием электрического поля увеличил свою скорость с $v_1 = 10^7$ м/с до $v_2 = 3 \cdot 10^7$ м/с. Найти разность потенциалов между начальной и конечной точками перемещения.

11.165. Альфа-частица движется со скоростью $v = 2 \cdot 10^7$ м/с и попадает в однородное электрическое поле, силовые линии которого направлены противоположно направлению движения частицы. Какую разность потенциалов должна пройти частица до остановки? Какой должна быть напряженность электрического поля, чтобы частица остановилась, пройдя расстояние $s = 2$ м?

11.166. Электрон вылетает из точки поля, потенциал которой $\varphi_0 = 600$ В, со скоростью $v = 1{,}2 \cdot 10^7$ м/с по направлению силовой линии. Определить потенциал точки, в которой скорость электрона станет равна нулю.

11.167. Величина напряженности электрического поля изменяется в некотором направлении по закону $E = Ar$, где $A = 4$ В/м^2. Позитрон начинает двигаться из положения, в котором $r = 0$. Какую скорость он приобретет, пройдя путь $s = 1$ м вдоль этого направления?

11.168*. Найти работу, которую совершат электростатические силы при перемещении точечного заряда $q = 1$ мкКл в поле напряженностью $\vec{E} = \vec{i} + 4\vec{j}$ из точки с радиус-вектором $\vec{r}_1 = -\vec{i} + 2\vec{j}$ в точку с радиус-вектором $\vec{r}_2 = 3\vec{i} + \vec{j}$. Пояснить полученный результат с помощью графических построений.

11.169. В однородном электрическом поле выбраны точки A, B, C, D и N, расположенные вдоль одной прямой на одинаковых расстояниях друг от друга (рис. 11.50). Найти потенциалы точек B и D, принимая поочередно A, C и N за точки нулевого потенциала, если разность потенциалов $\varphi_B - \varphi_D = 50$ В.

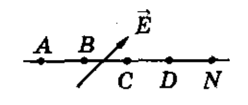


Рис. 11.50

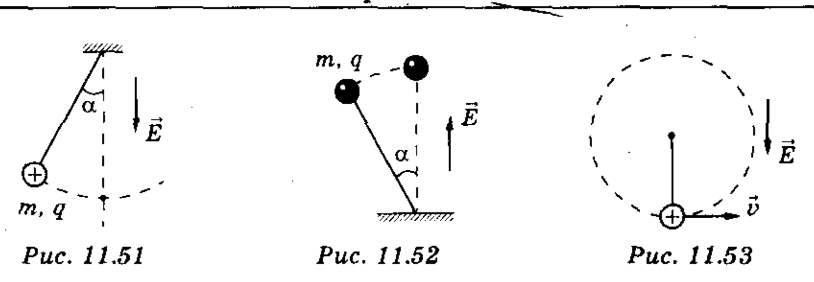


Рис. 11.51 *Рис. 11.52* *Рис. 11.53*

11.170. Тело массой $m = 10$ г, имеющее заряд $q = 5$ мкКл, подвешено на нити. Тело отклоняют на 90° и отпускают. Чему равна сила натяжения нити в тот момент, когда нить составляет угол $\alpha = 30°$ с вертикалью? Тело находится в однородном электрическом поле с напряженностью $E = 2$ кВ/м, направленном вертикально вниз (рис. 11.51).

11.171. В однородном поле напряженностью $E = 20$ кВ/м на нити прикреплен шарик массой $m = 10$ г и зарядом $q = 10$ мкКл (рис. 11.52). Шарик отклоняют от положения равновесия на угол $\alpha = 60°$ и отпускают. Найти натяжение нити в тот момент, когда шарик проходит положение равновесия. Силовые линии поля вертикальны.

11.172. В однородном электрическом поле напряженностью E на нити длиной l вращается вокруг вертикальной оси шарик массой m, имеющий заряд $+q$. Направление силовых линий электрического поля совпадает с направлением силы тяжести. Определить минимальную работу A, которую нужно произвести для разгона шарика из состояния покоя до угловой скорости ω.

11.173. В однородном электрическом поле напряженностью E, направление силовых линий которого совпадает с направлением силы тяжести, на нити длиной l висит шарик массой m, имеющий заряд $+q$. Какую минимальную горизонтальную скорость v необходимо сообщить шарику (рис. 11.53), чтобы он смог вращаться в вертикальной плоскости?

11.174. Точка A находится на расстоянии $R_1 = 2$ м, а точка B — на расстоянии $R_2 = 1$ м от точечного заряда $q = 10^{-7}$ Кл. Чему равна разность потенциалов между точками A и B?

11.175. В некоторых двух точках поля точечного заряда напряженности отличатся в $n = 4$ раза. Во сколько раз отличаются потенциалы поля в этих точках?

11.176. Потенциалы точек A и B $\varphi_A = 30$ В, $\varphi_B = 20$ В. Найти потенциал точки C, лежащей посередине между точками A и B (рис. 11.54).

A C B

Рис. 11.54

11.177. Равномерно заряженный стержень AB создает в точке O электрическое поле напряженностью E_0, потенциал которого φ_0 (рис. 11.55). Какими станут напряженность E и потенциал φ в точке O, если в плоскость AOB поместить еще один такой же стержень с таким же зарядом, причем $AB \perp A'B'$?

Рис. 11.55

11.178. Два точечных заряда, $q = 0{,}1$ мкКл каждый, расположены на расстоянии $R = 6$ см друг от друга. Найти напряженность поля и потенциал в точке, удаленной на $r = 5$ см от каждого из зарядов. Решить задачу для случаев: а) оба заряда положительные; б) один заряд положительный, а другой отрицательный.

11.179. Расстояние между зарядами $q_1 = 10$ нКл и $q_2 = -1$ нКл равно $R = 1{,}1$ м. Найти напряженность поля в точке на прямой, соединяющей заряды, в которой потенциал равен нулю.

11.180. Два разноименных точечных заряда, одинаковых по модулю, находятся на расстоянии $b = 30$ см друг от друга. В точках, находящихся на таком же расстоянии от обоих зарядов, напряженность электрического поля $E = 100$ В/м. Определить потенциал поля φ в точке, расположенной между зарядами на расстоянии $b/3$ от положительного заряда.

11.181. Два электрических заряда $q_1 = q$ и $q_2 = -2q$ расположены друг от друга на расстоянии $l = 6a$. Найти геометрическое место точек, в которых потенциал поля равен нулю, в какой-нибудь из плоскостей, проходящих через заряды.

11.182. Напряжение поля точечного заряда Q в точке A равно E_A, а в точке B — E_B. Определить работу A, необходимую для перемещения заряда q из точки A в точку B.

11.183. Два заряда, величиной $q = 10^{-6}$ Кл каждый, находятся на расстоянии $r_1 = 50$ см друг от друга. Какую работу A нужно совершить, чтобы сблизить их до расстояния $r_2 = 5$ см?

11.184. Два одноименных точечных заряда $q_1 = 20$ нКл и $q_2 = 5$ нКл находятся на расстоянии $r = 0{,}5$ м друг от друга. Какую работу должны совершить электрические силы для увеличения расстояния между зарядами в $n = 5$ раз?

11.185. Два заряда $q_1 = 2$ мкКл и $q_2 = 5$ мкКл расположены на расстоянии $r = 0{,}4$ м друг от друга в точках A и B (рис. 11.56). Вдоль прямой CD, проходящей

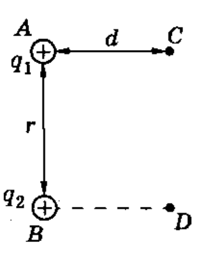


Рис. 11.56

параллельно отрезку AB на расстоянии $d = 0{,}3$ м от него, перемещают заряд $q = 10$ мкКл. Найти работу электрических сил A при перемещении заряда из точки C в точку D, если прямые AC и BD перпендикулярны отрезку AB.

11.186. Электрон движется к неподвижному точечному заряду $q = -10^{-10}$ Кл. В точке A ($r_A = 0{,}2$ м) (рис. 11.57) электрон имеет скорость $v = 10^6$ м/с. На какое минимальное расстояние r_B приблизится электрон к заряду? Какова будет кинетическая энергия электрона после того, как он, двигаясь в обратном направлении, окажется в точке C, находящейся на расстоянии $r_C = 0{,}5$ м от заряда?

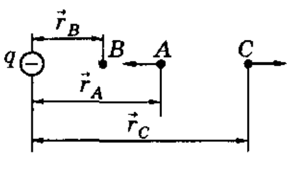


Рис. 11.57

11.187°. Найти минимальную кинетическую энергию $E_к$ (в эВ), которую необходимо сообщить α-частице, чтобы она могла сблизиться с первоначально покоившимся ядром азота до минимального расстояния $r = 5 \cdot 10^{-13}$ м.

11.188°. Два небольших, одинаково заряженных тела удерживают на изолирующей гладкой горизонтальной поверхности на расстоянии $l = 10$ см друг от друга. Сначала отпускают одно из них, а затем, когда расстояние между телами увеличится в $n = 3$ раза, и другое. Определить скорости тел, когда они разлетятся на большое расстояние. Заряд каждого тела $q = 10^{-6}$ Кл, масса каждого тела $m = 1$ г.

11.189. Заряженный шарик массой $m = 0{,}75$ г подвешен на легкой нити. Какую работу нужно совершить, чтобы медленно издалека приблизить другой такой же заряженный шарик и поместить его в точку, где вначале находился шарик на нити, при этом шарик на нити отклоняется, поднимаясь на высоту $h = 40$ мм?

11.190. Шарик массой $m = 10^{-4}$ кг, заряд которого $q = 10^{-8}$ Кл, подвешен на нити длиной $l = 0{,}03$ м (рис. 11.58). Над точкой подвеса на расстоянии $h = 0{,}04$ м от нее помещен заряд $q_0 = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл. Шарик отклоняют от положения равновесия на угол $\alpha_0 = 60°$ и отпускают. Найти скорость шарика и силу натяжения нити при прохождении шариком положения равновесия.

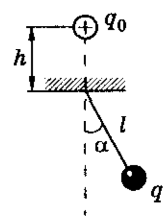


Рис. 11.58

11.191. Маятник OA представляет собой невесомую тонкую непроводящую спицу длиной l, на конце которой находится шарик массой m, имеющий заряд q. Второй шарик, заряд которого равен $-q$, закреплен в

точке C (рис. 11.59). Найти силу, действующую на ось маятника в момент прохождения им точки B. В начальный момент времени скорость шарика равна нулю, угол отклонения от вертикали $\alpha_0 = 90°$.

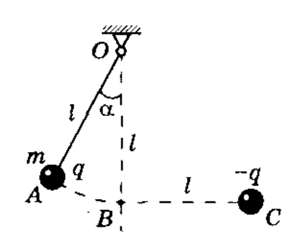


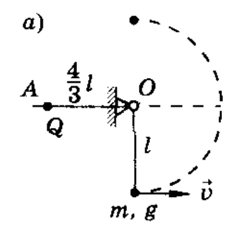
Рис. 11.59

11.192. Два одинаковых маленьких шарика, с зарядом q и массой m каждый, подвешены на одинаковых нитях длиной l. Вся система помещена в однородное электрическое поле, направленное вертикально вверх. Шарики разводят так, что нити образуют горизонтальную прямую, и отпускают. Наименьшее расстояние, на которое они сближаются, равно l. Чему равна напряженность электрического поля, если во время движения нити остаются натянутыми?

11.193. На двух нитях равной длины подвешены в одной точке два шарика, массой m каждый. Один из шариков отводят на угол $\beta = 90°$, шарики одинаково заряжают и отпускают. После удара шариков и затухания колебаний угол между нитями стал $2\alpha = 60°$. Какая энергия перешла в тепло?

11.194. Шарик массой $m = 1$ г, несущий заряд $q = 2$ мкКл, подвешен на невесомой изолирующей нити длиной $l = 1$ м. Какую минимальную скорость должен иметь шарик в нижней точке, чтобы, двигаясь по окружности, он достиг верхней точки, если на одной высоте с точкой подвеса закреплен точечный заряд: а) $Q = 6$ мкКл, расстояние до заряда $AO = \dfrac{4l}{3}$ (рис. 11.60, *а*); б) $Q = -q$, расстояние до заряда $BO = 2l$ (рис. 11.60, *б*)?

11.195. В горизонтальной плоскости на непроводящем проволочном кольце расположены два одинаковых шарика (рис. 11.61), массой $m = 0{,}9$ г каждый. Один шарик закреплен, второй может без трения двигаться по проволоке. Шарикам сообщаются одинаковые заряды $q = 1$ мкКл. Какова максимальная скорость второго шарика, если в первоначальный момент времени центральный угол между шариками $\alpha = 60°$, радиус кольца $R = 10$ см?



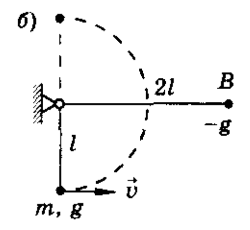


Рис. 11.60

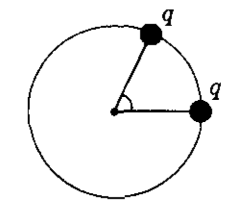


Рис. 11.61

11.196. Две одинаковые маленькие бусинки, имеющие одинаковые заряды, могут без трения скользить по непроводящему кольцу радиусом R = 40 см, расположенному вертикально в поле тяжести Земли (рис. 11.62). Первоначально бусинки удерживают на горизонтальном диаметре кольца. Бусинки отпускают. Найти их максимальные скорости, если положение равновесия между ними находится на хорде, равной радиусу кольца.

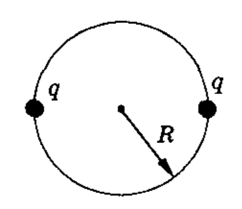


Рис. 11.62

11.197. На тонкое диэлектрическое кольцо радиусом R = 20 см надета бусинка массой m = 1 г, которой сообщен заряд $q = 10^{-7}$ Кл. Кольцо располагают вертикально и в центр помещают заряд $Q = -2 \cdot 10^{-7}$ Кл. Какую минимальную скорость необходимо сообщить бусинке в нижней точке кольца, чтобы, проходя верхнюю точку, бусинка не оказывала давления на кольцо? Трения нет.

11.198. На тонкое диэлектрическое кольцо радиусом R надета бусинка массой m, которой сообщен заряд Q. Кольцо расположено в вертикальной плоскости и вся система находится в вертикальном однородном электрическом поле напряженностью E. Какой точечный заряд Q надо расположить в центре кольца, чтобы бусинка, соскользнувшая с вершины кольца, не оказывала давления на кольцо в его нижней точке. Трения между кольцом и бусинкой нет. Рассмотреть два случая: а) напряженность поля E направлена вверх; б) напряженность поля E направлена вниз.

11.199. В горизонтальной плоскости XOY находятся два одинаково заряженных шарика. Один закреплен в начале координат, второй может без трения двигаться по прямому непроводящему стержню (рис. 11.63). В начальный момент второй шарик находится в положении неустойчивого равновесия. Определить отношение скоростей, которые может приобрести второй шарик в точках пересечения стержня с осями координат при смещении его влево или вправо из положения равновесия.

11.200. По гладкой наклонной плоскости с углом наклона к горизонту α с высоты h начинает скользить тело массой m, имеющее заряд $-q$. Положительный заряд $+q$ помещен в вершине прямого угла (рис. 11.64).

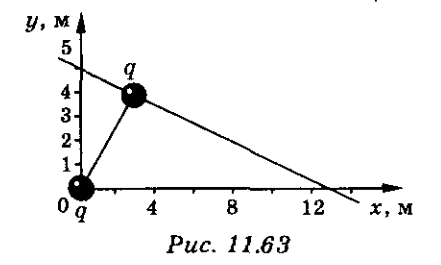


Рис. 11.63

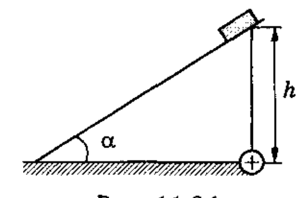


Рис. 11.64

Определить скорость тела v в момент его перехода на горизонтальную плоскость. При каких условиях тело в момент перехода на горизонтальную плоскость будет иметь скорость $v = 0$?

11.201°. Маленькая шайбочка массой $m = 10$ г и зарядом $q = 30$ нКл лежит у основания гладкой наклонной плоскости, составляющей угол $\alpha = 30°$ с горизонтом. Какой минимальный по модулю заряд Q следует поместить на расстоянии $l = 12$ см от шайбочки (рис. 11.65), чтобы она начала подниматься по наклонной плоскости? Чему будет равна скорость шайбочки в тот момент, когда расстояние между ней и зарядом Q минимальное?

11.202. Два одинаковых шарика, массой m каждый, имеющие одинаковые заряды, начинают скользить по двум одинаковым неподвижным и непроводящим спицам. Спицы расположены в вертикальной плоскости, причем каждая наклонена к горизонту под углом α (рис. 11.66). На какую высоту над первоначальным уровнем поднимутся шарики, если в начальный момент времени они удерживались на расстоянии a друг от друга и на расстоянии l от концов спиц?

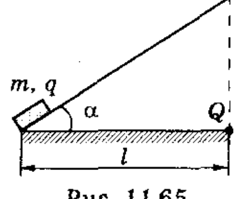


Рис. 11.65

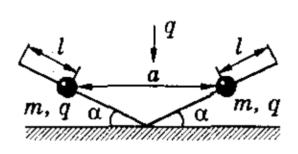


Рис. 11.66

11.203°. Шарик массой m, имеющий заряд q, удерживается на одной вертикали под закрепленным зарядом $-q$ на расстоянии l от него. Какую минимальную скорость, направленную вниз, нужно сообщить шарику, чтобы он упал на землю? Расстояние до земли велико, движение происходит в поле тяготения Земли, ускорение свободного падения постоянно.

11.204°. Два небольших тела, связанные нитью длиной l, лежат на горизонтальной плоскости. Заряд каждого тела равен q, масса равна m. Нить пережигают и тела приходят в движение. Какова максимальная скорость каждого тела, если коэффициент трения о плоскость равен μ?

11.205°. На гладкой горизонтальной поверхности закреплен шарик с зарядом $q_1 = 2$ мкКл, к которому прикреплена непроводящая пружина. На другом конце пружины (рис. 11.67) находится шарик массой $m = 20$ г, заряд которого $q_2 = 4$ мкКл. Подвижный шарик колеблется так, что минимальное расстояние между шариками $l_1 = 10$ см. Какова максимальная скорость движения этого шарика, если длина

Рис. 11.67

пружины в недеформированном состоянии $l_0 = 30$ см, а в момент, когда скорость шарика максимальна, ее длина $l_2 = 40$ см?

11.206. Два шарика с одинаковыми зарядами $q = 1$ мкКл прикрепили к концам недеформированной непроводящей пружины и отпустили. Какое количество энергии перешло в тепло при затухании колебаний, если расстояние между шариками после прекращения колебаний стало $l = 10$ см? Длина недеформированной пружины $l_0 = 8$ см. Колебания происходят в горизонтальной плоскости.

11.207. Заряды $+q$, $-2q$, $+3q$ расположены в вершинах правильного треугольника со стороной a. Определить потенциальную энергию W этой системы.

11.208. Три точечных заряда расположены вдоль прямой на расстоянии $a = 0{,}2$ м друг от друга. Какую работу необходимо совершить, чтобы поместить заряды в вершины равностороннего треугольника? Величина каждого заряда $q = 1$ нКл, сторона треугольника $a = 0{,}2$ м.

11.209. Три одинаковых маленьких шарика, массой $m = 1$ г и зарядом $q = 1$ мкКл каждый, удерживают в вершинах правильного треугольника со стороной $a = 1$ м. а) Если один шарик отпустить, до какой скорости он разгонится? б) Если одновременно отпустить все три шарика, до какой скорости они разгонятся?

11.210°. Три маленьких одинаковых шарика, массой $m = 4$ г каждый, могут скользить по длинному непроводящему горизонтальному стержню. Первоначально шарики находятся на расстояниях $l = 0{,}2$ м друг от друга (рис. 11.68). Одновременно каждому шарику сообщают заряд $q = 4$ мкКл. Какую максимальную скорость будут иметь шарики при движении, если коэффициент трения между ними и стержнем $\mu = 0{,}4$?

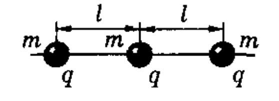


Рис. 11.68

11.211°. На гладкой непроводящей горизонтальной поверхности лежат три одинаковых, одноименно заряженных шарика. Заряд каждого шарика $q = 10^{-6}$ Кл, масса $m = 2$ г. Шарики соединены невесомыми нерастяжимыми нитями длиной $l = 0{,}2$ м так, что нити образуют равносторонний треугольник. Одну из нитей пережигают. Найти максимальные скорости шариков.

11.212. Четыре точечных заряда ($q = 20$ мкКл) расположены в вершинах квадрата со стороной $a = 4$ см. Какую работу совершают силы электрического поля при перемещении зарядов в вершины правильной треугольной пирамиды со стороной a?

11.213. Четыре одинаковых заряженных шарика удерживают в вершинах тетраэдра со стороной $a = 5$ см. Шарики отпускают. Какую скорость

будут иметь шарики, когда расстояние между ними удвоится? Масса каждого шарика $m = 30$ г, заряд $q = 1$ нКл. Силу тяжести не учитывать.

11.214. Площадь поверхности металлической сферы $S = 100$ см^2, ее заряд $q = 10^{-8}$ Кл. Определить потенциал сферы.

11.215. Вблизи поверхности уединенного шара напряженность электрического поля $E = 130$ В/м. Найти заряд шара и потенциал его поверхности. Радиус шара 6,37 м.

11.216. На расстоянии $a = 16$ см от центра равномерно заряженной сферы радиусом $R = 11$ мм напряженность электрического поля $E = 77$ В/м. Определить потенциал сферы и поверхностную плотность заряда на сфере.

11.217. Металлическая сфера радиусом $R = 5$ см имеет заряд $q = 2{,}5 \cdot 10^{-9}$ Кл. Определить разность потенциалов точек, расположенных на расстояниях $r_1 = 1$ см и $r_2 = 10$ см от центра сферы. Построить график зависимости $\varphi(r)$.

11.218. Какую часть электронов надо удалить из медного шара радиусом $R = 10$ см, чтобы его потенциал был $\varphi = 10^8$ В?

11.219. При переносе заряда $q = 10$ нКл из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии $r = 0{,}2$ м от поверхности заряженного металлического шара, необходимо совершить работу $A = 0{,}5$ мкДж. Найти потенциал поверхности шара, если его радиус $R = 0{,}04$ м.

11.220. Положительный заряд равномерно распределен по поверхности шара радиусом $R = 1$ см. Поверхностная плотность заряда $\sigma = 10^{-9}$ Кл/м^2. Какую работу надо совершить, чтобы перенести положительный заряд $q = 9 \cdot 10^{-9}$ Кл из бесконечности на поверхность шара?

11.221. Потенциал металлического шара $\varphi = 300$ В. Какую минимальную скорость необходимо сообщить электрону, чтобы удалить его с поверхности шара на большое расстояние?

11.222. Внутри полой тонкостенной проводящей сферы радиусом R находится другая концентрическая сфера радиусом r ($r < R$). Большой сфере сообщили заряд Q, малой — заряд q. Определить потенциалы сфер.

11.223. Две концентрические сферы радиусами R и $2R$ заряжены равномерно по поверхности зарядами $q_1 = 0{,}1$ мкКл и $q_2 = 0{,}2$ мкКл соответственно. На равном расстоянии от каждой из этих сфер потенциал $\varphi = 3$ кВ. Найти радиус первой сферы. Построить график зависимости $E(r)$, $\varphi(r)$, где r — расстояние от центра сферы.

11.224. Три концентрические сферы радиусами R, $2R$, $3R$ имеют заряды $+q$, $+2q$, $-3q$ соответственно. Определить потенциал каждой сферы.

11.225. Шар равномерно заряжен с объемной плотностью заряда ρ, радиус шара R. Построить график зависимости $\varphi(r)$, где r — расстояние от центра сферы до точки, в которой находят потенциал.

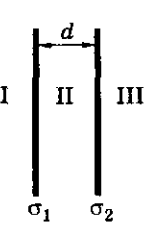


Рис. 11.69

11.226. Две бесконечные пластины находятся в вакууме и равномерно заряжены с поверхностной плотностью $\sigma_1 = -5$ нКл/м^2 и $\sigma_2 = 13{,}85$ нКл/м^2 соответственно. а) Найти величину и направление напряженности электрического поля в областях I, II и III (рис. 11.69). б) Построить во всех этих областях картину силовых линий электрического поля. в) Определить разность потенциалов между пластинами. г) Построить график зависимости напряженности и потенциала электрического поля вдоль линии, перпендикулярной пластинам. Расстояние между пластинами $d = 10$ см.

11.227. Две параллельные пластины одинаковой площади, $S = 100$ см^2 каждая, расположены на расстоянии $d_0 = 0{,}1$ см друг от друга. Поверхностная плотность зарядов пластин $\sigma_1 = 5$ мкКл/м^2 и $\sigma_2 = -1{,}7$ мкКл/м^2. Какую работу нужно совершить, чтобы увеличить расстояние между пластинами до $d = 0{,}3$ см?

11.228. Найти разность потенциалов между точками A и B электростатического поля, создаваемого двумя бесконечными равномерно заряженными плоскостями (рис. 11.70) с поверхностными плотностями зарядов $\sigma_1 = 2 \cdot 10^{-7}$ Кл/м^2 и $\sigma_2 = 4{,}2 \cdot 10^{-7}$ Кл/м^2. Плоскости пересекаются под прямым углом. Расстояния $a = 7$ см, $b = 5$ см.

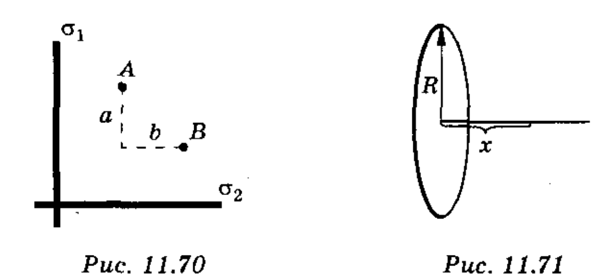


Рис. 11.70 *Рис. 11.71*

11.229. Незаряженный металлический цилиндр радиусом $R = 40$ см вращается вокруг своей оси с угловой скоростью $\omega = 200$ с$^{-1}$. Определить напряженность электрического поля в цилиндре на расстоянии $r = 20$ см от его оси и разность потенциалов между его осью и поверхностью.

11.230. Заряд q равномерно распределен по тонкому кольцу радиусом R. Найти потенциал поля кольца φ на его оси, на расстоянии x от центра кольца (рис. 11.71). Построить график зависимости $\varphi(x)$.

11.231. С какой скоростью пролетит электрон, втягиваемый в кольцо, из бесконечности в его центр? Кольцо заряжено положительно с линейной плотностью γ.

11.232. Электрон находится в центре кольца радиусом R, заряженного отрицательно, с линейной плотностью γ. Определить скорость электрона v на расстоянии $2R$ от плоскости кольца на его оси. В центре кольца скорость электрона равна нулю.

11.233. С какой скоростью пролетит электрон, втягиваемый в кольцо, заряженное положительно, с линейной плотностью γ, если первоначально он находится на расстоянии R от плоскости кольца на его оси? Начальная скорость электрона $v_0 = 0$.

11.234. Два параллельных тонких кольца, радиусом R каждое, имеют общую ось. Расстояние между их центрами d. Найти работу A, совершаемую электрическими силами при перемещении заряда Q из центра первого кольца в центр второго, если по первому кольцу распределен заряд q_1, по второму — заряд q_2.

Проводники в электростатическом поле

11.235. Почему кусочек металлической фольги вначале притягивается к наэлектризованной палочке, а потом сразу же от нее отскакивает?

11.236. Как защитить работников лаборатории, в которой экспериментируют с большими электростатическими зарядами, от действия электрического поля этих зарядов?

11.237. Как перемещаются свободные электроны в поверхностном слое земли, когда над ним проходит положительно или отрицательно заряженная туча?

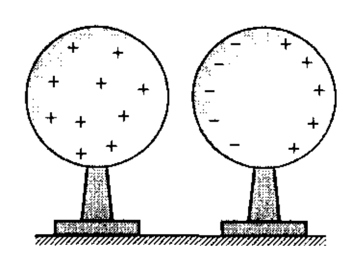
11.238. Нарисовать схему молниеотвода. Указать знаки зарядов на молниеотводе при прохождении над ним тучи заряженной: а) положительно; б) отрицательно.

11.239. Почему антенна заряжается, когда вблизи нее проходит грозовая туча? Изменится ли заряд антенны, если вспыхнет молния и заряд тучи уменьшится?

11.240. Силовые линии направлены всегда перпендикулярно поверхности статически заряженного проводника. Доказать, что если бы силовые линии были наклонны, то заряды перемещались бы по поверхности проводника.

10 1695

Электромагнетизм


Рис. 11.72

11.241. Если в электрическое поле заряженного шара A поместить незаряженный шар B, то за счет явления электростатической индукции на шаре произойдет перераспределение заряда (рис. 11.72). Является ли поверхность шара B эквипотенциальной?

11.242. Двум одинаковым металлическим шарам сообщают равные заряды сначала одного знака, затем разных. Расстояние между шарами сравнимо с их радиусами. Сравнить силу взаимодействия зарядов.

11.243. Одной из двух параллельных равных металлических пластин сообщили заряд q. Какой заряд Q будет индуцирован на каждой стороне второй пластины?

11.244. Плоская металлическая пластина площадью S расположена перпендикулярно силовым линиям однородного электрического поля напряженностью E (рис. 11.73). Определить напряженность поля E_0 внутри пластины и заряд q, индуцированный на стороне пластины площадью S.

11.245. Две одинаковые металлические параллельные пластины небольшой толщины сблизили на расстояние, значительно меньшее их линейных размеров. Одной из пластин сообщили заряд q, а другой — заряд $3q$. Определить заряд на четырех поверхностях пластин. Изобразить картину силовых линий.

11.246. Четыре параллельные пластины расположены, как показано на рисунке 11.74. Найти разность потенциалов между внутренними пластинами. Размеры a, d и разность потенциалов $\Delta\varphi_1$ и $\Delta\varphi_2$ известны.

11.247. Четыре параллельно расположенные пластины несут заряды $q_1 = -5$ мкКл, $q_2 = 3$ мкКл, $q_3 = 4$ мкКл, $q_5 = -1$ мкКл. После соединения первой пластины со второй, а третьей с четвертой (рис. 11.75) определить напряженность поля в точках A, B, C, D, N. Площадь каждой пластины $S = 1$ м^2. Размеры пластин значительно больше расстояния между ними.

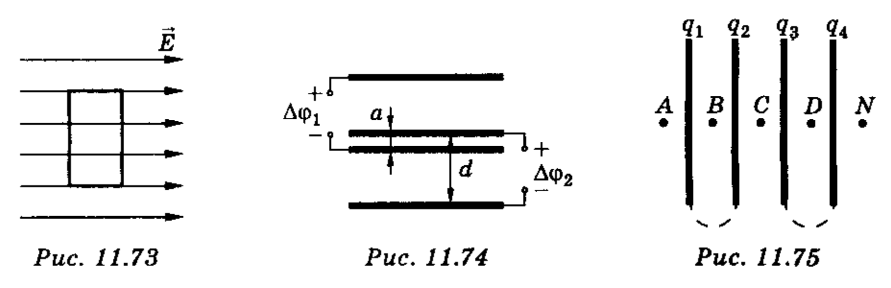


Рис. 11.73 Рис. 11.74 Рис. 11.75

11.248. Две одинаковые, закороченные проводником пластины находятся друг от друга на расстоянии d (рис. 11.76), малом по сравнению с их линейными размерами. Точно такая же пластина с зарядом q находится на расстоянии a от одной из пластин. Какой заряд пройдет по закорачивающему пластины проводнику, если заряженную пластину вынуть?

11.249. Три одинаковые параллельные пластины находятся друг от друга на расстоянии, малом по сравнению с их собственными размерами. Крайние пластины закорочены проводником (рис. 11.77). Средней пластине сообщен заряд q. Чему равна разность потенциалов между пластинами A и B? Расстояния a, d известны, площадь каждой пластины S.

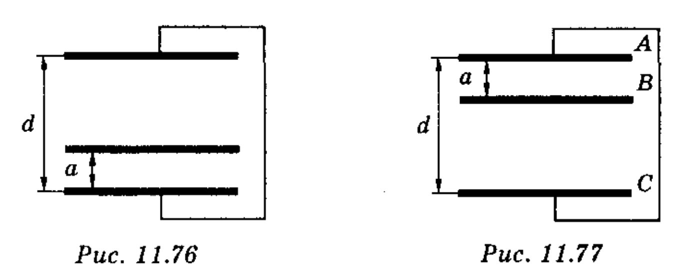


Рис. 11.76 *Рис. 11.77*

11.250*. Электрическое поле создано точечным зарядом q, который находится вблизи большой заземленной металлической пластины на расстоянии a от нее. Изобразить картину силовых линий результирующего электростатического поля. Определить силу притяжения F заряда к пластине, напряженность E и потенциал φ поля в точке, находящейся на расстоянии a от заряда и пластины.

11.251*. На расстоянии l от бесконечной металлической пластины находится точечный заряд. Какую работу нужно совершить, чтобы медленно удалить заряд от пластины?

11.252*. На расстоянии $l = 1$ м от бесконечной металлической пластины находится точечный заряд $q = 1$ мкКл. Какую работу нужно совершить, чтобы переместить заряд на $\Delta l = 1$ м? Рассмотреть случаи: а) перемещение заряда параллельно пластине; б) перемещение заряда перпендикулярно пластине; в) перемещение заряда составляет угол $\alpha = 30°$ с плоскостью пластины.

11.253. На расстоянии R от центра изолированного незаряженного шара поместили точечный заряд q. Определить потенциал шара.

11.254. Если зарядить два удаленных шара, а затем сблизить до расстояния $l = 1{,}6$ м между их центрами, то потенциал одного из них возрастет на $\Delta\varphi_1 = 2{,}4$ В, а другого — уменьшится на $\Delta\varphi_2 = 4{,}1$ В. Оценить величину зарядов на шарах, учитывая, что их радиусы гораздо меньше расстояния между ними.

11.255. Два небольших проводящих шара, радиусом R каждый, расположены на расстоянии r друг от друга (рис. 11.78). Шары поочередно на некоторое время заземляют. Определить потенциал шара, который был заземлен первым, если первоначально каждый шар имел заряд q.

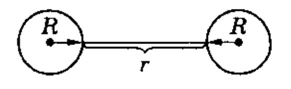


Рис. 11.78

11.256. Металлический заряженный шар радиусом R_1 помещен в центре проводящей сферической оболочки, внутренний и внешний радиусы которой соответственно равны R_2 и R_3 (рис. 11.79). Заряд шара Q. Написать выражения и построить график зависимости напряженности поля E и потенциала φ от расстояния r от центра шара.

11.257. Металлический шар радиусом R_1, заряженный до потенциала φ, окружают концентрической сферической проводящей оболочкой радиусом R_2 ($R_2 > R_1$). Определить потенциал шара φ_1 после того, как он будет на короткое время соединен проводником с оболочкой.

11.258. Металлический шар радиусом R, заряженный до потенциала φ, окружают концентрической металлической сферой радиусом nR. Чему будет равен потенциал шара, если заземлить оболочку (рис. 11.80)?

11.259. Внутрь тонкой металлической сферы радиусом R = 0,2 м концентрически помещен шар радиусом r = 0,1 м. Шар через малое отверстие в сфере соединен с землей длинным тонким проводником (рис. 11.81). Сфере сообщили заряд $Q = 10^{-8}$ Кл. Определить потенциал сферы.

11.260. Двум металлическим шарам радиусами R_1 и R_2 соответственно, соединенным длинным тонким проводником, сообщен заряд Q. Затем шар радиусом R_1 помещают внутрь металлической заземленной сферы радиусом $R = 3R_1$ (рис. 11.82). Какой заряд при этом пройдет по проводнику?

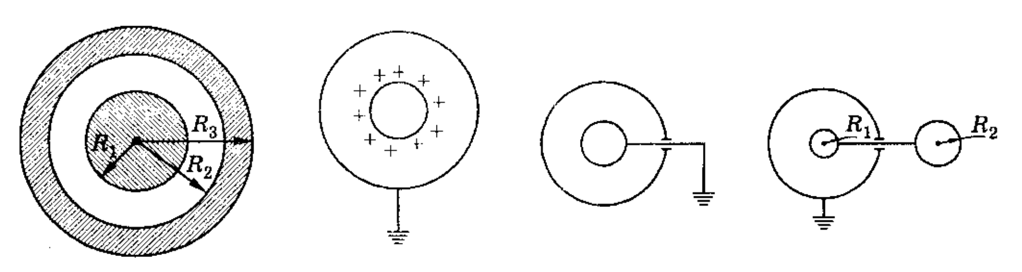


Рис. 11.79 Рис. 11.80 Рис. 11.81 Рис. 11.82

Диэлектрики в электростатическом поле

11.261. Напряженность электрического поля в вакууме $E_0 = 8{,}1 \cdot 10^5$ В/м, а напряженность поля, создаваемого тем же зарядом, в воде $E = 10^4$ В/м. Найти относительную диэлектрическую проницаемость воды.

11.262. В однородном поле находятся вплотную прижатые друг к другу пластины из слюды и текстолита так, что силовые линии перпендикулярны большим граням пластин. Напряженность поля в текстолите $E_т = 60$ В/м. Найти напряженность поля в слюде и вне пластины.

11.263. С какой силой отталкиваются две капельки воды, находящиеся в керосине на расстоянии $r = 3 \cdot 10^{-3}$ м, если заряды капель $q_1 = -2{,}1 \cdot 10^{-9}$ Кл и $q_2 = -3 \cdot 10^{-9}$ Кл?

11.264. Два одинаковых заряда в масле на расстоянии $R = 6$ см друг от друга взаимодействуют с силой $F = 0{,}4$ мН. Найти величину каждого заряда.

11.265. Во сколько раз надо изменить величину каждого из двух одинаковых зарядов, чтобы при погружении в воду сила взаимодействия на том же расстоянии между ними осталась прежней?

11.266. С какой силой взаимодействуют два точечных заряда $q_1 = 0{,}66 \cdot 10^{-7}$ Кл и $q_2 = 1{,}1 \cdot 10^{-5}$ Кл в воде на расстоянии $R = 3{,}3$ см? На каком расстоянии их следует поместить в вакууме, чтобы сила взаимодействия осталась прежней?

11.267. Два одинаковых заряженных шарика, подвешенных на нитях одинаковой длины (рис. 11.83), опускают в жидкость. Какова должна быть плотность материала шариков, чтобы угол расхождения не изменился? Диэлектрическая проницаемость жидкости $\varepsilon = 3$, ее плотность $\rho = 0{,}8$ г/см^3.

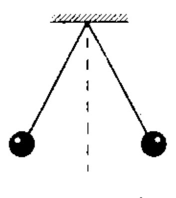


Рис. 11.83

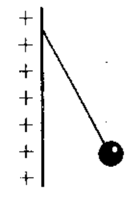


Рис. 11.84

11.268. Около вертикальной, равномерно заряженной бесконечной плоскости на невесомой непроводящей нити висит маленький шарик (рис. 11.84), заряженный одноименно с плоскостью. При заполнении

всего окружающего пространства жидкостью, плотность которой ρ_0 и диэлектрическая проницаемость ε, положение шарика не изменилось. Найти плотность ρ материала шарика.

11.269. Найти силу натяжения нити T, соединяющей два одинаковых шарика, радиус которых R, масса m, заряд q. Один из шариков плавает, наполовину погруженный в жидкость, а второй — внутри жидкости (рис. 11.85). Расстояние между центрами шаров l, диэлектрическая проницаемость жидкости ε.

11.270. Два одинаковых алюминиевых шарика, радиусом $R = 10^{-2}$ м каждый, надеты на тонкий стержень и опущены в керосин (рис. 11.86). Верхний шарик закреплен, нижний может свободно перемещаться вдоль изолирующего стержня. У каждого миллиарда атомов подвижного шарика отнято по одному электрону и все эти электроны перенесены на неподвижный шарик. На каком расстоянии l должны находиться центры шариков, чтобы нижний шарик находился в равновесии? Будет ли равновесие устойчивым?

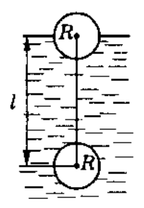


Рис. 11.85

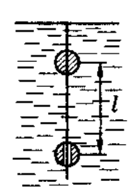


Рис. 11.86

11.271. Два маленьких шарика, имеющие одинаковые заряды, находятся в сосуде со льдом при температуре $t_1 = -18$ °С на расстоянии $R = 20$ см друг от друга. Какова относительная диэлектрическая проницаемость льда, если при образовании в сосуде воды при температуре $t = 0$ °С шарики пришлось сблизить до расстояния $r = 3{,}8$ см, чтобы сила электростатического взаимодействия осталась прежней? Относительная диэлектрическая проницаемость воды при $t = 0$ °С $\varepsilon_0 = 88$.

11.272. На расстоянии $r = 3$ см от заряда $q = 4$ нКл, находящегося в жидком диэлектрике, напряженность поля $E = 20$ кВ/м. Определить относительную диэлектрическую проницаемость диэлектрика.

11.273. Заряженный шарик погрузили в керосин. На каком расстоянии от шарика напряженность поля будет такая же, какая была до погружения в керосин на расстоянии $R = 29$ см?

11.274. Определить величину точечного заряда, образующего поле в вакууме, если на расстоянии $R = 9$ см от него напряженность поля будет

$E = 4 \cdot 10^5$ В/м. На сколько ближе к заряду будет находиться точка, в которой напряженность останется прежней, если заряд поместить в среду с относительной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2$?

11.275. Металлический заряженный шар радиусом $R_1 = 0{,}1$ м, имеющий заряд $q = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл, окружен слоем диэлектрика, внутренний радиус которого $R_2 = 0{,}12$ м, толщина $d = 0{,}05$ м (рис. 11.87) и диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 2{,}5$. Определить напряженность поля в слое диэлектрика для точки с координатой $r_1 = 0{,}15$ м. Построить график зависимости $E(r)$.

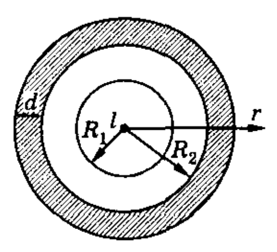


Рис. 11.87

11.276*. Точечный заряд q помещен в однородный безграничный диэлектрик с диэлектрической проницаемостью ε. Найти поляризационный заряд q', возникающий вблизи точечного заряда.

11.277*. Два точечных заряда $+q$ и $-q$, находящиеся на некотором расстоянии друг от друга, помещены в однородный безграничный диэлектрик с относительной диэлектрической проницаемостью ε. Найти поляризационные заряды q_1 и q_2, возникающие вблизи точечных зарядов.

11.278*. Заряженный металлический шар окружен плотно прилегающей сферической оболочкой с диэлектрической проницаемостью ε. Заряд шара q. Определить величину связанного заряда q' на внешней поверхности оболочки.

11.279*. Металлический шар радиусом $R = 5$ см с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 2 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2 погружают в керосин. Определить величину и знак заряда, наведенного на границе металл—диэлектрик.

11.280*. Пластина из диэлектрика с диэлектрической проницаемостью ε помещена в однородное поле напряженностью E_0 перпендикулярно силовым линиям. Определить величину поверхностной плотности связанных зарядов на поверхностях пластины.

11.281*. Две бесконечные параллельные, одинаково заряженные плоскости помещены в безграничный диэлектрик с диэлектрической проницаемостью ε. Найти плотность поляризационных зарядов, возникающих в диэлектрике вблизи поверхности пластин, если поверхностная плотность заряда каждой пластины σ.

11.282*. Бесконечная, равномерно заряженная пластина помещена в однородный безграничный диэлектрик с диэлектрической проницаемостью ε. Найти плотность поляризационных зарядов σ', возникающих с каждой стороны пластины, если поверхностная плотность заряда пластины σ.

11.283*. Две металлические пластины расположены параллельно друг другу на расстоянии d. Пространство между пластинами заполняет диэлектрик проницаемостью ε. На одной пластине заряд q_1, на другой — q_2. Определить разность потенциалов между пластинами. Площадь пластин S.

Электроемкость. Конденсаторы

11.284. В сухую погоду антенны электризуются под действием ветра с пылью. Определить потенциал антенны, если ее электроемкость $C = 10^{-4}$ мкФ, а заряд $q = 10^{-8}$ Кл.

11.285. Определить емкость уединенного проводника, потенциал которого изменяется на $\Delta\varphi = 10$ кВ при сообщении ему заряда $q = 5$ нКл.

11.286. Определить емкость уединенного металлического шара, радиус которого R.

11.287. Какого радиуса R должен быть шар, чтобы его емкость была $C = 1$ Ф? (Сравнить с радиусом Земли.)

11.288. Первый искусственный спутник Земли имел форму шара диаметром $d = 0{,}58$ м. Во время полета спутник наэлектризовался до потенциала $\varphi = 6$ В. Найти заряд на поверхности спутника.

11.289. На сколько увеличится потенциал шара, радиус которого $R = 3$ см, при сообщении ему заряда $q = 20$ нКл?

11.290. Какой заряд надо сообщить шару диаметром $d = 18$ см, находящемуся в масле, чтобы изменить его потенциал на $\Delta\varphi = 400$ В?

11.291. Шар радиусом $R_1 = 0{,}10$ м имеет заряд $q_1 = 1{,}7 \cdot 10^{-8}$ Кл, а шар радиусом $R_2 = 0{,}2$ м — $q_2 = 3 \cdot 10^{-8}$ Кл. Будут ли перемещаться заряды, если шары соединить проволокой?

11.292. Шар радиусом $R_1 = 5$ см, заряженный до потенциала $\varphi_1 = 100$ кВ, соединили длинной проволокой с незаряженным шаром, радиус которого $R_2 = 6$ см. Найти заряд каждого шара и их потенциалы.

11.293. Два проводящих шара радиусами $R_1 = 10$ см и $R_2 = 5$ см заряжены до потенциалов $\varphi_1 = 20$ В и $\varphi_2 = 10$ В соответственно. Найти поверхностные плотности зарядов σ_1 и σ_2 на шарах после их соединения проводником. Расстояние между шарами много больше их радиусов. Емкостью проводника, соединяющего шары, пренебречь.

11.294. Проводник емкостью $C_1 = 10$ пФ имеет заряд $q_1 = 600$ нКл, а проводник емкостью $C_2 = 30$ пФ — $q_2 = -200$ нКл. Найти заряды и

потенциалы проводников, если их соединить проволокой, емкостью которой можно пренебречь. Расстояние между проводниками много больше их размеров.

11.295. Проводящие сферы радиусами R_1 = 15 мм и R_2 = 45 мм, находящиеся достаточно далеко друг от друга, заряжены до потенциалов φ_1 = 90 В и φ_2 = 20 В соответственно. Каким станет потенциал сфер, если соединить их тонкой проволокой? Как изменится заряд каждой сферы?

11.296. Металлический шарик радиусом R_1 имеет заряд q. Его соединяют с другим, незаряженным шариком, радиус которого R_2. Доказать, что условие равенства их потенциалов эквивалентно условию минимума электрической энергии этой системы. Расстояние между шариками велико по сравнению с их радиусами.

11.297. Три заряженных шарика радиусами R_1 = 1 см, R_2 = 2 см, R_3 = 3 см соединены проволокой. Как распределится общий заряд q между шариками? Размеры шариков малы по сравнению с расстоянием между ними.

11.298. Двум шарикам, радиусы которых отличаются в n = 5 раз, сообщены равные одноименные заряды. Во сколько раз изменится сила взаимодействия между шариками, если их соединить проволокой? Емкостью проволоки пренебречь. Задачу решить для двух случаев: а) расстояние между шариками много больше их размеров; б) расстояние между шариками сравнимо с их размерами.

11.299. В результате слияния n = 64 маленьких, одинаково заряженных капелек воды образовалась одна большая капля. Во сколько раз потенциал и поверхностная плотность заряда большой капли отличаются от потенциала и поверхностной плотности заряда каждой малой капли? Капли имеют форму шара.

11.300. N одинаковых капелек ртути заряжены до одного и того же потенциала φ_0. Каков будет потенциал φ большой капли, получившейся в результате слияния этих капель?

11.301. Две одинаковые капли ртути, радиусом R = 50 мкм каждая, находятся на достаточно большом расстоянии друг от друга. Потенциалы капель φ_1 = φ_2 = 0,15 кВ. Капли, притягиваясь, сливаются в одну. Найти повышение температуры образовавшейся капли.

11.302. Пучок электронов, движущихся со скоростью v = 10^6 м/с, попадает на незаряженный металлический изолированный шар радиусом R = 5 см. Какое максимальное число электронов накопится на шаре?

11.303*. Найти емкость сферического конденсатора, состоящего из двух концентрических сфер радиусами $R_1 = 0{,}01$ м и $R_2 = 0{,}0105$ м. Пространство между сферами заполнено маслом. Какого радиуса должен быть изолированный шар, чтобы он имел емкость, равную емкости такого конденсатора?

11.304. Найти емкость плоского конденсатора, состоящего из двух круглых пластин диаметром $D = 20$ см, разделенных парафиновой прослойкой толщиной $d = 1$ мм.

11.305. Площадь каждой пластины плоского конденсатора $S = 520$ см^2. На каком расстоянии друг от друга надо расположить в воздухе пластины, чтобы емкость конденсатора была $C = 46$ пФ?

11.306. Расстояние между обкладками плоского конденсатора увеличивают. Как изменится: а) электроемкость конденсатора; б) напряженность электрического поля; в) напряжение? Рассмотреть два случая: 1) конденсатор заряжен и отключен от источника тока; 2) конденсатор подключен к источнику тока.

11.307. Плоский конденсатор состоит из двух пластин, площадью $S = 200$ см^2 каждая, расположенных на расстоянии $d = 2$ мм друг от друга, между которыми находится слой слюды. Какой наибольший заряд можно сообщить конденсатору, если допустимое напряжение $U = 3$ кВ?

11.308. Плоский воздушный конденсатор, расстояние между пластинами которого $d_1 = 0{,}5$ мм, заряжен до напряжения $U_1 = 10$ В и отключен от источника. Каким будет напряжение U_2, если пластины раздвинуть до расстояния $d_2 = 5$ мм?

11.309. С какой силой взаимодействуют пластины плоского воздушного конденсатора площадью $S = 0{,}01$ м^2, если напряжение на пластинах $U = 500$ В и расстояние между ними $d = 3 \cdot 10^{-3}$ м?

11.310. Конденсатор емкостью C_1 зарядили до напряжения $U_1 = 500$ В. При параллельном подключении этого конденсатора к незаряженному конденсатору емкостью $C_2 = 4$ мкФ вольтметр показал напряжение $U_2 = 100$ В. Найти емкость конденсатора C_1.

11.311°. Конденсатор емкостью C заряжен до напряжения U и отключен от источника тока. К этому конденсатору подключают незаряженный конденсатор емкостью C_1 ($C_1 << C$), затем конденсаторы разъединяют. После этого исходный конденсатор без его подзарядки присоединяют к следующему незаряженному конденсатору емкостью C_1 и т. д. Какое минимальное количество раз нужно повторить эту операцию, чтобы напряжение на исходном конденсаторе C упало не менее чем в 2 раза?

11.312. Конденсатор неизвестной емкости C_1 заряжен до напряжения U_1 = 80 В. При параллельном подключении этого конденсатора к конденсатору емкостью C_2 = 60 мкФ, заряженному до напряжения U_2 = 16 В, напряжение на батарее становится U = 20 В, если конденсаторы соединить обкладками одного знака. Определить емкость C_1.

11.313. Конденсатор емкостью C_1 = 4 мкФ, заряженный до напряжения U_1 = 26 В, соединяют параллельно с конденсатором емкостью C_2 = 6 мкФ, заряженным до напряжения U_2 = 16 В, обкладками, имеющими одинаковые по знаку заряды. Определить напряжение на конденсаторах после их соединения.

11.314. Напряжение на двух одинаковых плоских конденсаторах, соединенных параллельно, U_0 = 6 В. После отключения конденсаторов от источника тока у одного из них уменьшили расстояние между пластинами вдвое. Найти напряжение между пластинами конденсаторов в этом случае.

11.315. Два одинаковых плоских конденсатора, емкостью C = 0,01 мкФ каждый, соединили параллельно, зарядили до напряжения U = 300 В и отключили от источника тока. Затем пластины одного из конденсаторов раздвинули на расстояние, вдвое превышающее первоначальное. Какой заряд прошел при этом по соединительным проводам?

11.316. К воздушному конденсатору, напряжение на котором U_1 = = 210 В, присоединили параллельно такой же незаряженный конденсатор, но с диэлектриком из стекла. Какова диэлектрическая проницаемость стекла, если напряжение на зажимах батареи стало U = 30 В?

11.317. Пространство между обкладками плоского конденсатора, площадь пластин которого S и расстояние между ними d, сплошь заполнено диэлектриком, состоящим из двух половин равных размеров, но с разной диэлектрической проницаемостью ε_1 и ε_2. Граница раздела перпендикулярна обкладкам (рис. 11.88). Найти емкость такого конденсатора.

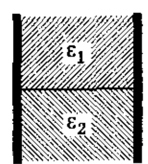




Рис. 11.88



Рис. 11.89

11.318. Плоский воздушный конденсатор, расстояние между пластинами которого $d = 10^{-2}$ м, до половины погрузили в масло (рис. 11.89). На какое расстояние следует раздвинуть пластины, чтобы емкость конденсатора не изменилась?

11.319. Плоский конденсатор погружают в жидкость с диэлектрической проницаемостью ε и заряжают до напряжения U. После отключения источника напряжения пластины начинают вынимать из диэлектрика. При каком расстоянии x между уровнем жидкости и верхним концом пластин (рис. 11.90) произойдет пробой конденсатора, если пробойное значение напряженности электрического поля $E_{пр}$? Ширина пластин h, расстояние между пластинами d.

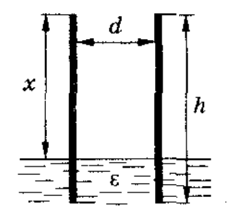


Рис. 11.90

11.320. Плоский незаряженный конденсатор заполнен диэлектриком, проницаемость которого зависит от напряжения по закону $\varepsilon = \alpha U$, где $\alpha = 1$ В$^{-1}$. Параллельно этому нелинейному конденсатору подключают такой же конденсатор без диэлектрика. Напряжение на втором конденсаторе $U_0 = 156$ В. Определить напряжение, которое установится на конденсаторах после соединения.

11.321. Конденсатор какой емкости C_1 следует подключить последовательно к конденсатору емкостью $C_2 = 800$ пФ, чтобы емкость батареи была $C = 160$ пФ?

11.322. Два последовательно соединенных конденсатора емкостями $C_1 = 2$ мкФ и $C_2 = 4$ мкФ присоединены к источнику постоянного напряжения $U = 120$ В. Определить напряжение на каждом конденсаторе.

11.323. Два одинаковых воздушных конденсатора соединены последовательно и подключены к батарее с постоянной ЭДС. Один из них заполняют диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 4$. Во сколько раз изменится напряженность электрического поля в этом конденсаторе?

11.324. Пространство между обкладками плоского конденсатора заполнено двумя слоями диэлектриков толщиной d_1 и d_2, которые параллельны обкладкам конденсатора. Диэлектрические проницаемости диэлектриков ε_1 и ε_2 соответственно. Площадь пластин S. Найти емкость конденсатора C.

11.325. У плоского конденсатора, заполненного твердым диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε, одну пластину отодвигают от диэлектрика на расстояние, равное половине толщины диэлектрического слоя (рис. 11.91). При каком значении ε емкость конденсатора изменится в 2 раза?

Рис. 11.91

11.326. У плоского конденсатора, заполненного слюдой, удаляют треть толщины диэлектрического слоя (рис. 11.92). Как и во сколько раз меняется при этом емкость конденсатора?

11.327. В плоский воздушный конденсатор емкостью C, расстояние между обкладками которого d, вводят диэлектрическую пластину толщиной h и диэлектрической проницаемостью ε параллельно его обкладкам. Форма и размеры пластины одинаковы с обкладками конденсатора. Найти емкость такого конденсатора C_1. Доказать, что емкость не зависит от положения пластины диэлектрика.

11.328. Плоский конденсатор с горизонтально расположенными пластинами подсоединен к источнику с напряжением U и помещен в сосуд, который постепенно заполняют керосином (диэлектрическая проницаемость ε) так, что уровень керосина поднимается равномерно со скоростью v (рис. 11.93). Найти зависимость напряженности электрического поля в воздушном слое конденсатора от времени. Расстояние между пластинами конденсатора d.

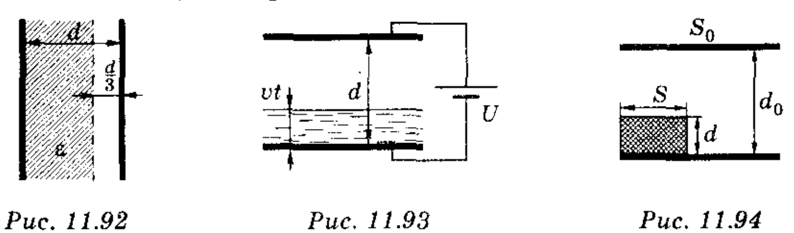


Рис. 11.92 *Рис. 11.93* *Рис. 11.94*

11.329. В плоский воздушный конденсатор емкостью C, расстояние между пластинами которого d, вводят металлическую пластину толщиной h параллельно обкладкам конденсатора. Пластина имеет форму и размеры, одинаковые с обкладками конденсатора. Определить емкость C_1 конденсатора с пластиной. Доказать, что емкость не зависит от положения пластины.

11.330. Определить емкость конденсатора с площадью пластин S_0 и расстоянием d_0 между ними, если в нем находится диэлектрическая пластина площадью S и толщиной d (рис. 11.94) с диэлектрической проницаемостью ε.

11.331. Имеется три конденсатора емкостью $C = 12$ мкФ, рассчитанные на напряжение $U = 600$ В каждый. Какие с их помощью емкости можно получить и каково допустимое напряжение в каждом случае?

11.332. Плоский конденсатор разрезают на $n = 4$ равные части вдоль плоскостей, перпендикулярных обкладкам. Полученные n конденсаторов соединяют последовательно. Чему равна емкость полученной батареи конденсаторов, если емкость исходного конденсатора $C_0 = 16$ мкФ?

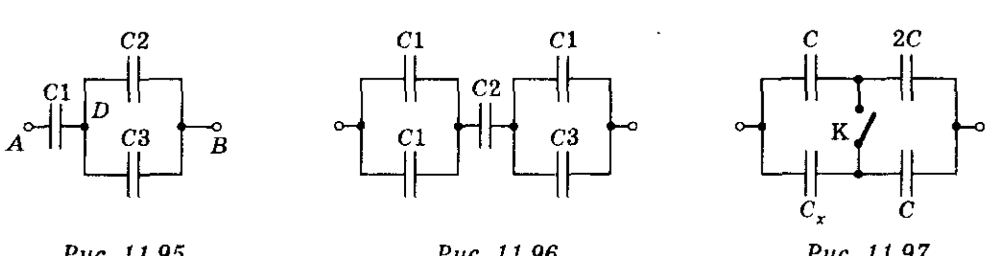


Рис. 11.95 Рис. 11.96 Рис. 11.97

11.333. Два плоских конденсатора, емкостью C каждый, соединили параллельно. В один из них вставили диэлектрическую пластину с проницаемостью ε, заполнившую весь объем конденсатора. Какой емкости и как необходимо подключить третий конденсатор, чтобы емкость системы стала равной $3C$?

11.334. Разность потенциалов между точками A и B (рис. 11.95) равна U. Емкости конденсаторов $C1$, $C2$, $C3$ известны. Определить заряды конденсаторов q_1, q_2, q_3 и разность потенциалов U_1 между точками A и D.

11.335. Определить емкость батареи конденсаторов, показанной на рисунке 11.96, если $C_1 = 4$ мкФ, $C_2 = 10$ мкФ, $C_3 = 2$ мкФ.

11.336. В схеме, изображенной на рисунке 11.97, емкость цепи не изменяется при замыкании ключа К. Найти емкость конденсатора C_x, если емкость $C = 40$ пФ.

11.337. Найти емкость системы конденсаторов, изображенной на рисунке 11.98.

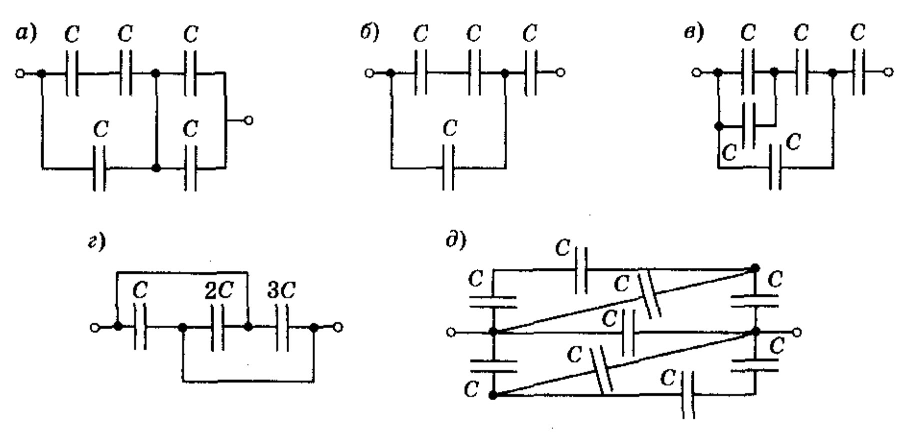


Рис. 11.98

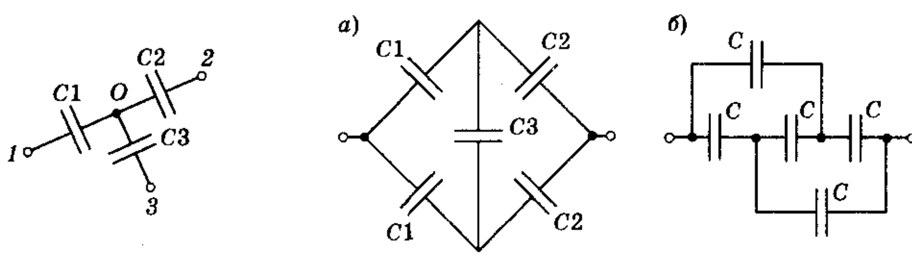


Рис. 11.99

Рис. 11.100

11.338. В некоторой цепи имеется участок, показанный на рисунке 11.99. Потенциалы точек *1*, *2*, *3* равны φ_1, φ_2, φ_3, а емкости C_1, C_2, C_3. Найти потенциал точки *O*.

11.339. Найти емкость системы конденсаторов, изображенной на рисунке 11.100.

11.340°. Из проволоки сделан куб, в каждое ребро включено по одному конденсатору емкостью *C* (рис. 11.101). Найти емкость получившейся батареи конденсаторов, если его включить в цепь в точках: а) *A* и *B*, б) *A* и *C*.

11.341°. Определить емкость C_x бесконечно длинной системы одинаковых конденсаторов, емкостью *C* каждый, соединенных друг с другом, как показано на рисунке 11.102.

11.342. Найти разность потенциалов между точками *A* и *B* в схеме, изображенной на рисунке 11.103. Емкость C_1 = 1 мкФ, C_2 = 2 мкФ, C_3 = 3 мкФ. Напряжение источника *U* = 100 В.

11.343. Емкость плоского воздушного конденсатора *C* = 900 пФ, расстояние между пластинами $d = 4 \cdot 10^{-2}$ м, напряжение на пластинах *U* = 200 В. Определить: а) напряженность поля между пластинами; б) силу взаимодействия пластин; в) энергию поля конденсатора; г) объемную плотность энергии.

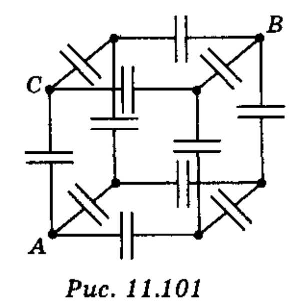


Рис. 11.101

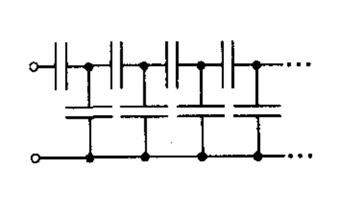


Рис. 11.102

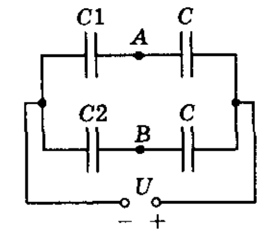


Рис. 11.103

11.344. Два конденсатора, емкость которых C_1 и C_2, соединены последовательно и подключены к источнику тока. Определить отношение энергии, запасенной в первом конденсаторе W_1, к энергии, запасенной во втором — W_2.

11.345. Конденсатор, имеющий емкость $C = 200$ мкФ, заряжен до разности потенциалов $U = 100$ В. Какое количество теплоты Q выделится, если конденсатор замкнуть сопротивлением?

11.346*. Металлическая сфера радиусом $R = 1$ см заряжена до потенциала $\varphi = 10$ кВ. Оценить количество теплоты, которое выделится в проводнике, при помощи которого сферу заземляют.

11.347. В импульсной фотовспышке лампа питается от конденсатора емкостью $C = 800$ мкФ, заряженного до напряжения $U = 300$ В. Найти энергию вспышки, среднюю ее мощность, если продолжительность разрядки $t = 2{,}4$ мс.

11.348. Расстояние между пластинами плоского конденсатора с диэлектриком из парафинированной бумаги $d = 2$ мм, а напряжение между пластинами $U = 200$ В. Найти плотность энергии поля.

11.349°. Во сколько раз изменится энергия поля заряженного конденсатора, если пространство между пластинами конденсатора заполнить маслом? Рассмотрите случаи: а) конденсатор отключен от источника напряжения; б) конденсатор остается присоединенным к источнику напряжения.

11.350. Расстояние между пластинами плоского конденсатора уменьшили в 2 раза. Во сколько раз изменятся: заряд на пластинах, напряжение между пластинами, напряженность поля между пластинами и энергия конденсатора. Рассмотреть два случая: а) конденсатор отключен от источника напряжения; б) конденсатор остается присоединенным к источнику постоянного напряжения.

11.351. Заряженный конденсатор подключили параллельно к такому же, незаряженному. Во сколько раз изменилась энергия поля первого конденсатора?

11.352. Два одинаковых конденсатора, емкостью $C = 1$ мкФ каждый, соединены параллельно длинными проводниками. Общий заряд на обкладках $q = 10^{-5}$ Кл. Какую минимальную работу необходимо совершить, чтобы развести обкладки одного конденсатора на большое расстояние? Сопротивлением соединительных проводов пренебречь.

11.353°. Два конденсатора емкостями $C = 1$ мкФ и C_x соединены последовательно и подключены к источнику тока с напряжением $U = 20$ В. При каком значении емкости C_x в конденсаторе будет накоплена наибольшая энергия? Определить значение этой энергии.

11.354°. Два конденсатора, емкостью $C = 2$ мкФ каждый, и один конденсатор емкостью C_x подключены к батарее с ЭДС $\mathscr{E} = 20$ В, как это показано на рисунке 11.104. При каких значениях емкости C_x на нем будет накоплена максимальная энергия? Найти эту энергию.

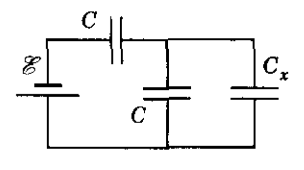


Рис. 11.104

11.355. Плотность энергии заряженного конденсатора $w = 300$ Дж/м^3. С какой силой взаимодействуют обкладки конденсатора, если их площадь $S = 10^{-2}$ м^2?

11.356. Определить энергию заряженного плоского конденсатора с твердым диэлектриком по следующим данным: объем диэлектрика $V = 10^{-3}$ м^3, относительная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 5$, напряженность поля в диэлектрике $E = 10^6$ В/м.

11.357. Определить энергию, перешедшую в тепло при соединении конденсаторов одноименно заряженными обкладками. Емкость первого конденсатора $C_1 = 2$ мкФ, второго — $C_2 = 0{,}5$ мкФ. Напряжение на первом конденсаторе до соединения $U_1 = 100$ В, а на втором — $U_2 = 50$ В.

11.358. Заряженный плоский конденсатор обладает энергией W. Пространство между его обкладками полностью занимает пластина из диэлектрика с проницаемостью ε. Найти минимальную работу A, которую нужно совершить, чтобы удалить пластину из конденсатора.

11.359*. Плоский воздушный конденсатор емкостью $C = 20$ нФ подключен к источнику постоянного напряжения $U = 100$ В. Какую минимальную работу надо совершить, чтобы вдвое увеличить расстояние между обкладками, если: а) конденсатор зарядили и отключили от источника напряжения; б) конденсатор оставался подключенным к источнику тока? Какова работа источника тока?

11.360°. Между обкладками плоского конденсатора помещена параллельно им металлическая пластина, толщина которой $\eta = \dfrac{1}{3}$ от ширины зазора. Емкость конденсатора без пластины $C = 0{,}025$ мкФ. Конденсатор подключен к источнику напряжения $U = 100$ В. Определить минимальную работу, которую нужно совершить, чтобы извлечь пластину из конденсатора, и работу, совершаемую при этом источником напряжения.

11.361. Конденсатор, присоединенный к батарее аккумуляторов, зарядился и приобрел энергию $W = 1$ Дж. Какую работу совершила при этом батарея?

11.362. Двум одинаковым конденсаторам, емкостью C каждый, сообщен заряд Q. Затем конденсаторы вставляют друг в друга, как показано на рисунке 11.105. Какую минимальную работу необходимо при этом совершить?

11.363. Верхняя пластина плоского воздушного конденсатора площадью S висит на пружине, жесткость которой k (рис. 11.106). Какое напряжение нужно приложить к пластинам конденсатора, чтобы сблизить их до расстояния d? Начальное расстояние между пластинами d_0.

11.364. Нижняя пластина плоского воздушного конденсатора закреплена неподвижно, а верхняя висит на пружине жесткостью $k = 50$ Н/м. Расстояния между пластинами $d_0 = 1{,}1$ см. Когда к конденсатору прикладывают напряжение U, то верхняя пластина начинает колебаться с амплитудой $A = 0{,}1$ см. Найти период колебаний и величину приложенного *напряжения. Площадь пластин* $S = 100$ *см*^{2}, *масса верхней пластины* $m = 54$ г.

11.365. Два плоских конденсатора, емкостью C каждый, соединенных параллельно и заряженных до напряжения U, отсоединяют от источника. Пластины одного из них могут свободно двигаться навстречу друг другу. Найти их скорости в тот момент, когда зазор между пластинами конденсатора уменьшится в 2 раза. Масса каждой пластины M. Силой тяжести, трением пренебречь.

11.366. Плоский воздушный конденсатор находится во внешнем однородном электрическом поле напряженностью E, перпендикулярной пластинам. Площадь каждой пластины S. Какой заряд Q окажется на каждой пластине, если их замкнуть накоротко проводником?

11.367. В однородном электрическом поле напряженностью E_0 находится плоскопараллельная металлическая пластина, площадь которой S и толщина d (рис. 11.107). Плоскость пластины перпендикулярна внеш-

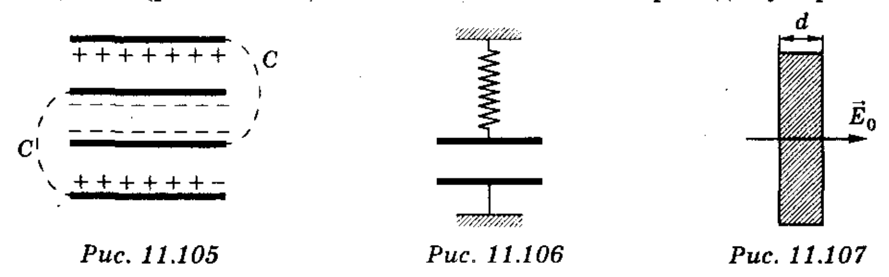


Рис. 11.105 *Рис. 11.106* *Рис. 11.107*

нему полю. Какую минимальную работу нужно совершить, чтобы удалить пластину из поля?

11.368. В однородном электрическом поле напряженностью E_0 перпендикулярно его направлению расположены две пластины из диэлектрика. Пластины имеют одинаковый по модулю и противоположный по знаку заряд, распределенный равномерно. Площадь каждой пластины S, а расстояние между ними d (рис. 11.108). До помещения во внешнее поле напряженность электрического поля между пластинами была E. Какую минимальную работу нужно совершить, чтобы систему пластин расположить параллельно внешнему полю?

11.369. В однородном электрическом поле напряженностью E_0 перпендикулярно его направлению расположен заряженный конденсатор, площадь пластин которого S. До помещения во внешнее поле напряженность электрического поля внутри конденсаторов была E. Какую минимальную работу нужно совершить, чтобы между обкладками конденсатора поместить параллельно им металлическую пластину толщиной d_0 (рис. 11.109)? Размеры пластины совпадают с размерами обкладок конденсатора.

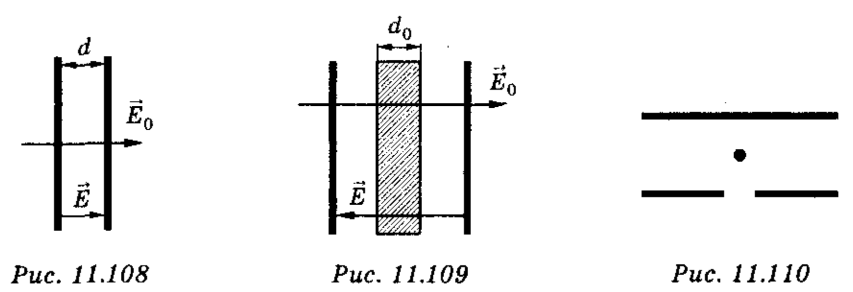


Рис. 11.108 Рис. 11.109 Рис. 11.110

11.370. Емкость плоского воздушного конденсатора $C = 900$ пФ, расстояние между пластинами $d = 4 \cdot 10^{-2}$ м. Если между пластинами конденсатора поместить точечный заряд $q = 4{,}8 \cdot 10^{-9}$ Кл, то на него будет действовать кулоновская сила $F = 10^{-4}$ Н. Определить напряженность поля, напряжение на пластинах, силу взаимодействия пластин, энергию поля конденсатора и объемную плотность энергии.

11.371°. Посередине между горизонтальными пластинами плоского воздушного конденсатора висит капелька ртути (рис. 11.110). Расстояние между пластинами $d = 5$ см, разность потенциалов $U_1 = 1000$ В. В нижней пластине под каплей имеется отверстие, сквозь которое она может свободно пройти. Внезапно разность потенциалов на пластинах уменьшается до $U_2 = 995$ В. Найти путь, который пройдет капля за время $t = 1{,}1$ с. Сопротивлением воздуха и неоднородностью электрического поля вблизи отверстия можно пренебречь.

11.372. Электрон влетает в плоской конденсатор через малое отверстие в положительно заряженной пластине. Скорость электрона $v = 10^4$ км/с перпендикулярна плоскости пластин. Какой должна быть наименьшая разность потенциалов между пластинами, чтобы электрон вылетел обратно из конденсатора? Каким должно быть при этом расстояние между пластинами?

11.373. Частица, имеющая массу m и заряд q, разгоняется до энергии W и влетает в конденсатор параллельно обкладкам. Заряд на конденсаторе Q, его емкость C, расстояние между обкладками d. Первоначально частица находится на одинаковом расстоянии от обкладок. Какой должна быть максимальная длина обкладок конденсатора l, чтобы частица не упала на их поверхность?

11.374. В плоский конденсатор длиной $l = 5$ см влетает электрон под углом $\alpha = 15°$ к пластинам. Электрон обладает энергией $W = 1500$ эВ. Расстояние между пластинами конденсатора $d = 1$ см. Определить разность потенциалов между пластинами конденсатора, при которой электрон на выходе из него будет двигаться параллельно пластинам.

11.375. Электрон влетает в плоский конденсатор длиной $l = 10$ см под углом $\alpha_1 = 45°$ к плоскости пластин, а вылетает под углом $\alpha_2 = 30°$ (рис. 11.111). Определить первоначальную кинетическую энергию электрона, если напряжение на пластинах конденсатора $U = 158$ В, а расстояние между его пластинами $d = 1$ см.

11.376. Электрон влетает в плоский заряженный конденсатор со скоростью v, направленной вдоль средней плоскости конденсатора AB. Через какое время нужно изменить направление электрического поля в конденсаторе на противоположное, не изменяя по абсолютной величине, чтобы на вылете из конденсатора электрон пересек плоскость AB (рис. 11.112)? Длина пластин конденсатора l. Силу тяжести не учитывать.

11.377*. Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов $\Delta\varphi$, влетает в плоский воздушный конденсатор параллельно пластинам, длина которых l. На конденсатор подают напряжение, которое изменяется линейно со временем по закону $U = \alpha t$, где α — положительная постоянная, t — время движения электрона в конденсаторе. Расстояние

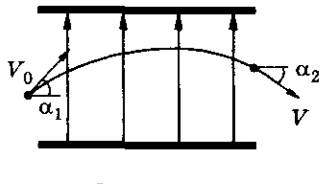


Рис. 11.111

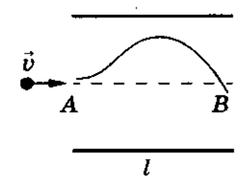


Рис. 11.112

между пластинами конденсатора d. Определить, с какой скоростью электрон вылетит из конденсатора.

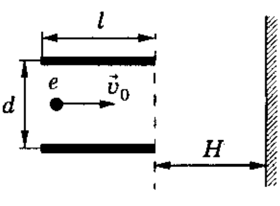


Рис. 11.113

11.378. Электрон, имеющий кинетическую энергию $W_к$, влетает в плоский конденсатор, между пластинами которого поддерживают напряжение U. Расстояние между пластинами d, их длина — l (рис. 11.113). На расстоянии H от конденсатора находится экран. Когда электрон влетает в поле конденсатора, его скорость параллельна пластинам. Найти смещение x электрона на экране, вызванное электрическим полем конденсатора.

11.379. Определить величину отклонения луча на экране электронного осциллографа, если ускоряющее (анодное) напряжение $U_а = 10^3$ В, напряжение на отклоняющих пластинах $U = 150$ В, длина отклоняющих пластин $b = 4$ см, расстояние между ними $d = 1$ см, а расстояние от отклоняющих пластин до экрана $l = 15$ см.

11.380. В пространство между обкладками незаряженного плоского конденсатора вносят металлическую пластину, имеющую заряд Q, так, что между пластиной и обкладками конденсатора остаются зазоры a и b (рис. 11.114). Площади пластины и каждой обкладки конденсатора одинаковы и равны S. Определить напряжение между обкладками конденсатора U.

11.381. Расстояние между обкладками плоского конденсатора, закороченного проводником (рис. 11.115), равно d. Между обкладками находится параллельная им металлическая пластина толщиной b, заряд которой q. Какой заряд Δq пройдет по закорачивающему проводнику, если верхнюю обкладку конденсатора переместить на расстояние a и соединить ее с пластиной?

11.382. Расстояние между обкладками плоского конденсатора, закороченного проводником, равно d. Между обкладками, на расстоянии a от одной из них, находится параллельная им металлическая пластина толщиной b, заряд которой q (рис. 11.116). Какой заряд Δq протечет

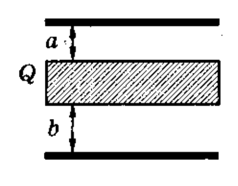


Рис. 11.114

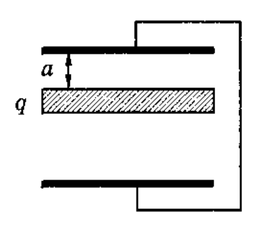


Рис. 11.115

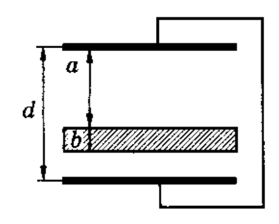


Рис. 11.116

по закорачивающему проводнику, если заряд на пластине увеличить в 2 раза?

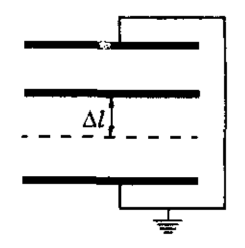


Рис. 11.117

11.383. Расстояние между обкладками плоского конденсатора, закороченного заземленным проводником, равно d. Между обкладками находится параллельная им тонкая пластина с зарядом q. Какой заряд протечет по проводнику, закорачивающему обкладки конденсатора, если пластину переместить на расстояние Δl (рис. 11.117)?

11.384. Два плоских воздушных конденсатора с обкладками одинаковой площади имеют равные заряды и вставлены друг в друга так, как показано на рисунке 11.118. Расстояние между обкладками первого конденсатора вдвое больше, чем расстояние между обкладками второго конденсатора. Во сколько раз изменится энергия этой системы, если обкладки внутреннего конденсатора сложить вместе?

11.385. Два плоских воздушных конденсатора с обкладками одинаковой площади $S = 8$ см^2 имеют равные заряды $q = 4$ мкКл и вставлены друг в друга так, как показано на рисунке 11.118. Расстояние между обкладками первого конденсатора $d = 12$ мм, вдвое больше, чем расстояние между обкладками второго конденсатора. Какое количество тепла выделится, если обкладки внутреннего конденсатора закоротить?

11.386. Имеются два одинаковых плоских воздушных конденсатора с обкладками площадью $S = 10$ см^2 и расстоянием между ними $d = 10$ мм имеют равные заряды $q = 2$ мкКл. Какую минимальную работу надо совершить, чтобы вставить конденсаторы друг в друга так, как показано на рис. 11.119?

11.387. Две параллельные пластины заряжены равномерно с поверхностными плотностями зарядов $\sigma_1 = 5$ мкКл/м^2 и $\sigma_2 = 2{,}5$ мкКл/м^2. Площади пластин одинаковы и равны $S = 17{,}7$ см^2, расстояние между ними $d = 0{,}8$ мм. На сколько изменится энергия электрического поля, локализованного между пластинами, если знак заряда одной из них поменять на противоположный, оставив величину заряда неизменной?

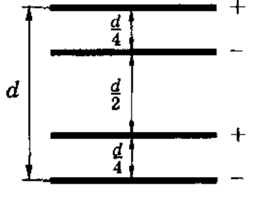


Рис. 11.118

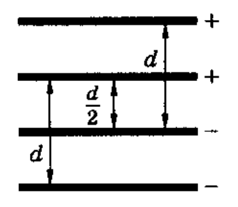


Рис. 11.119

11.388. Две большие параллельные пластины с поверхностными плотностями зарядов 3σ и σ отталкиваются друг от друга с силой $F = 5$ мН. Расстояние между пластинами $d = 0{,}6$ мм. Чему равна энергия электростатического поля, сосредоточенного между пластинами?

11.389°. Плотность энергии электростатического поля, локализованного между двумя параллельными, равномерно заряженными пластинами, $w = 0{,}1$ Дж/м^3. Сила их взаимного притяжения $F = 4$ мН. Площади пластин $S = 100$ см^2. Найти заряды пластин.

11.390. Две параллельные пластины одинаковой площади заряжены с поверхностными плотностями зарядов $\sigma_1 = 4$ мкКл/м^2 и $\sigma_2 = 3$ мкКл/м^2. Расстояние между пластинами много меньше их линейных размеров. Посередине между пластинами вставляется третья пластина той же площади с поверхностной плотностью заряда $\sigma_3 = -(\sigma_1 + \sigma_2)$. Во сколько раз изменится при этом энергия электростатического поля, локализованного между пластинами *1* и *2*?

11.391°. Если пластину с поверхностной плотностью заряда $\sigma_2 = 2\sigma$ внести в пространство между двумя пластинами с поверхностными плотностями зарядов $\sigma_1 = \sigma$ и $\sigma_3 = 3\sigma$ точно посередине, то энергия электрического поля, локализованного между пластинами *1* и *3*, увеличится на $\Delta W = 2$ мДж. Найти величину и направление силы, которая будет действовать на внесенную пластину со стороны двух других. Расстояние между первой и третьей пластинами $d = 8$ мм, много меньше их линейных размеров.

Электромагнетизм

Таблица 11

Формулы	Обозначения		Единицы измерения
Дискретность заряда $q = Ne$ Закон сохранения заряда $q = \sum_{i=1}^{n} q_i$	$\vec{F}$ r $\vec{F}$ $q_1 > 0$ $q_2 < 0$	q — электрический заряд e — элементарный заряд N — число элементарных зарядов	1 Кл $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Закон Кулона $F = \frac{k}{\varepsilon} \frac{\lvert q_1\rvert \lvert q_2\rvert}{r^2}$; $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$	$\vec{F}$ $\vec{F}$ $q_1 > 0$ $q_2 > 0$	F — модуль силы ε_0 — электрическая постоянная k — постоянная в законе Кулона ε — относительная проницаемость среды r — расстояние	1 Н $8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м $9 \cdot 10^{9}$ Н · м^2/Кл 1 м
Принцип суперпозиции $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ Напряженность поля $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$ а) точечного заряда $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \frac{q}{r^2}$;	$q_1 > 0$ r_1 $\vec{E}_2$ $\vec{E}_1$ r_2 $\vec{E}$ $q_2 < 0$ $q > 0$ $q < 0$		

б) бесконечной равномерно заряженной плоскости $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0\varepsilon}$; $\sigma = \frac{\Delta q}{\Delta S}$; в) плоского конденсатора $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon}$	$\sigma > 0$ $\sigma < 0$ + −	E — напряженность поля σ — поверхностная плотность заряда	1 Н/Кл = = 1 В/м = 1 Кл/м^2
Потенциал поля $\varphi = \frac{W}{q_0} = \frac{A_{\infty,1}}{q_0}$; $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$; $U = -\Delta\varphi$ Потенциал точечного заряда $\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\frac{q}{r}$	r $\varphi > 0$ $q > 0$	φ — потенциал поля W — энергия поля A — работа $\Delta\varphi$ — разность потенциалов	1 В 1 Дж 1 Дж 1 В
Связь между E и φ для поля а) однородного $E = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta x}$;	$\varphi_1 > \varphi_2$ $\vec{E}$ Δx x_1 x_2 x	U — напряжение	1 В

Окончание таблицы 11

Формулы	Обозначения		Единицы измерения
б) центрально-симметричного $E = -\dfrac{d\varphi}{dr}$	$\vec{E}$, $\varphi_1 > \varphi_2$, q, φ_1, φ_2	→ — линия напряженности - - - — эквипотенциальная поверхность	
Емкость $C = \dfrac{\Delta q}{\Delta\varphi}$; $C = \dfrac{dq}{d\varphi}$ а) уединенного шара $C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon r$;	r	C — емкость r — радиус шара	1 Ф 1 м
б) плоского конденсатора $C = \dfrac{\varepsilon_0\varepsilon S}{d}$	S, d	S — площадь пластины d — расстояние между пластинами	1 $м^2$ 1 м
Соединения конденсаторов а) параллельное $C = \sum\limits_{i=1}^{n} C_i$;	C1, C2 ⇒ C		

б) последовательное $\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i}$	C1 C2 ⇒ C		
Энергия			
а) системы точечных зарядов $W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N} q_i \varphi_i$;		φ_i — суммарный потенциал, создаваемый в точке расположения i-го заряда остальными зарядами системы	
б) конденсатора $W = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$			
Плотность энергии $w = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2}$		w — плотность энергии поля	1 Дж/м^3

12. Постоянный ток

Электрический ток, сила тока, плотность тока

12.1. Указать, в каком из приведенных ниже явлений можно говорить о наличии электрического тока в стержне электроскопа:

а) электроскоп зарядили посредством прикосновения к его головке заряженным металлическим шаром;

б) заряженный электроскоп разрядили прикосновением руки к его головке;

в) заряженный электроскоп разрядили прикосновением к его головке заряженным металлическим шаром (шар на изолирующей подставке);

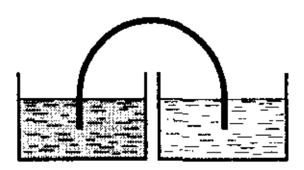
г) заряженный электроскоп, оставленный в шкафу, со временем разрядился.

12.2. Является ли электрическим током искра, проскакивающая между шариками разрядника электрической машины?

12.3. Является ли электрическим током молния, возникшая между облаком и Землей? между двумя облаками?

12.4. Положительный и отрицательный ионы водорода после соударения оказались электрически нейтральными. Можно ли говорить о наличии тока в процессе нейтрализации этих ионов?

12.5. В чем состоит главное отличие между током, возникшим в металлическом проводнике, с помощью которого разряжают электроскоп, и током, идущим по проводнику, соединяющему полюсы гальванического элемента?



Раствор соли *Раствор кислоты*

Рис. 12.1

12.6. Возникнет ли в медном проводнике ток, если один его конец опустить в водный раствор поваренной соли, а другой — в водный раствор серной кислоты (рис. 12.1)?

12.7. Две разнородные металлические пластинки, опущенные в водный раствор соли, щелочи или кислоты, всегда образуют гальванический элемент. Можно ли получить гальванический элемент из двух одинаковых металлических пластинок, но погруженных в различные растворы?

12.8. Для питания фары от генератора тока, установленного на велосипеде, к электрической лампе проведен только один провод. Почему нет второго провода?

12.9. Через нить лампочки от карманного фонаря проходит заряд $q = 0,2$ Кл за время $t = 1$ с. Какова сила тока в лампочке (в амперах, миллиамперах и микроамперах)?

12.10. Какой электрический заряд q проходит через поперечное сечение проводника за время $t = 1$ с при силе тока $I = 400$ мА (в кулонах, милликулонах, нанокулонах)?

12.11. По проводнику за время $t = 30$ мин проходит заряд $q_1 = 1800$ Кл. Определить силу тока и время, в течение которого проходит заряд $q_2 = 600$ Кл.

12.12. Автомобильный электродвигатель-стартер в течение $t = 3$ с работал от батареи аккумуляторов при силе тока $I_1 = 150$ А. Когда автомобиль двинулся в путь, генератор стал подзаряжать аккумуляторы при силе тока $I_2 = 4,5$ А. За какое время восстановится прежнее состояние батареи?

12.13. Какой заряд проходит через сечение проводника, если известно, что сила электрического тока в этом проводнике равномерно возрастает от нуля до $I = 5$ А в течение $t = 10$ с?

12.14. Сила тока в цепи изменяется по закону $I = I_0 + at$, где $a = 2$ А/с, $I_0 = 2$ А. Определить заряд, который пройдет по проводнику за промежуток времени от $t_1 = 0$ до $t_2 = 2$ с.

12.15. В медном проводнике, площадь сечения которого $S = 0,17$ мм^2, сила тока $I = 0,15$ А. Определить плотность тока j в этом проводнике.

12.16. Сила тока в лампочке от карманного фонаря $I = 0,32$ А. Сколько электронов N проходит через поперечное сечение нити накала за время $t = 0,1$ с?

12.17. В проводнике электроны проводимости движутся направленно не так уж быстро: их скорость — несколько миллиметров в секунду. Как можно объяснить в связи с этим то, что электрическая лампа зажигается одновременно с поворотом выключателя?

12.18. В электронно-вычислительной машине импульс тока от одного устройства к другому необходимо передать за время $t = 10^{-9}$ с. Можно ли эти устройства соединить проводником длиной $l = 40$ см?

12.19. В проводнике переменного сечения (рис. 12.2) течет ток. Одинакова ли напряженность электрического поля на участках AB и BC? Одинакова ли средняя скорость направленного движения электронов проводимости на обоих участках? Одинакова ли сила тока на этих участках? Ответы обосновать.

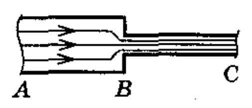


Рис. 12.2

12.20. Конденсатор емкостью $C = 100$ мкФ заряжают до напряжения $U = 500$ В за время $t = 0{,}5$ с. Каково среднее значение силы тока $\langle I \rangle$?

12.21*. Плоский конденсатор с площадью квадратных пластин $S = 400$ см^2 и расстоянием между ними $d = 2$ мм подключен к источнику напряжением $U = 120$ В. В пространство между обкладками конденсатора со скоростью $v = 10$ см/с вдвигают пластину с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2$. Определить величину тока, протекающего в цепи.

12.22*. В электрической цепи (рис. 12.3) после зарядки конденсатора емкостью $C = 10^{-3}$ Ф, расстояние между обкладками которого $d = 10^{-2}$ м, напряжение $U = 10^2$ В, начинают сдвигать обкладки со скоростью $v = 10$ см/с. Определить величину и направление тока в цепи в момент начала сдвига обкладок.

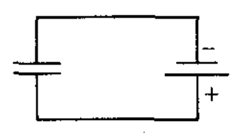


Рис. 12.3

12.23*. Пластины плоского воздушного конденсатора, площадью $S = 7{,}2 \cdot 10^{-2}$ м^2 каждая, подсоединены к источнику с ЭДС $\mathscr{E} = 12$ В. Одна из пластин движется навстречу другой таким образом, что расстояние между ними меняется по закону $d = 0{,}1 - 2t$. Определить, как меняется сила тока в этой цепи. Вычислите I $(t = 0)$.

12.24*. Двум воздушным плоским одинаковым конденсаторам, соединенным параллельно, сообщен заряд Q. В момент времени $t = 0$ расстояние между пластинами первого конденсатора начинают равномерно увеличивать по закону $d_1 = d_0 + vt$, а расстояние между пластинами второго конденсатора равномерно уменьшать по закону $d_2 = d_0 - vt$. Найти силу тока в цепи во время движения пластин.

12.25. Определить ток, создаваемый электроном, движущимся по орбите радиусом $R = 0{,}5 \cdot 10^{-10}$ м в атоме водорода.

12.26. Плотность тока электрона в атоме j. Заряд ядра — Z. Определить радиус орбиты электрона.

Сопротивление проводников. Последовательное и параллельное соединение проводников

12.27. Рассчитать сопротивление медного трамвайного провода длиной $l = 5$ км, если площадь его сечения $S = 0{,}65$ см^2.

12.28. Обмотка реостата сопротивлением $R = 84$ Ом выполнена из никелиновой проволоки с площадью поперечного сечения $S = 1$ мм^2. Определить длину проволоки.

12.29. После протягивания проволоки через волочильный станок длина ее увеличилась в 4 раза. Каким стало сопротивление этой проволоки, если до обработки ее сопротивление $R_1 = 20$ Ом?

12.30. Алюминиевая и медная проволоки имеют равные массы и одинаковые площади поперечного сечения. Какая из проволок имеет большее сопротивление?

12.31. Определить сопротивление мотка стальной проволоки диаметром $d = 1$ мм. Масса проволоки $m = 300$ г.

12.32. Квадратные медные пластины одинаковой толщины, площади которых $S_1 = 1$ см^2 и $S_2 = 1$ м^2, включены в цепь (рис. 12.4). Доказать, что электрическое сопротивление пластин одинаково.

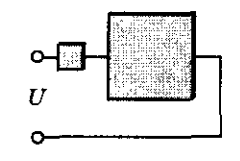


Рис. 12.4

12.33. Плоский конденсатор заполнен средой с диэлектрической проницаемостью ε и удельным сопротивлением ρ. Емкость конденсатора C. Чему равно его сопротивление R?

12.34. Четыре одинаковых сопротивления, каждое из которых равно r, соединяют различными способами (рис. 12.5). Определить эквивалентное сопротивление во всех случаях.

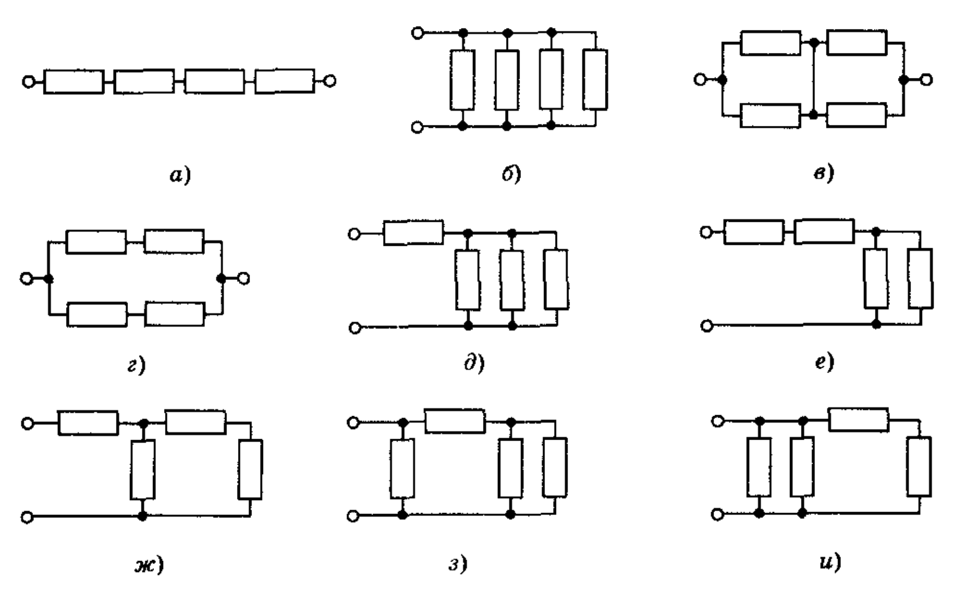


Рис. 12.5

12.35. Четыре одинаковых резистора ученик включил в цепь так, как показано на рисунке 12.6. Какое он получил сопротивление между точками A и B? Сопротивлением соединительных проводников пренебречь.

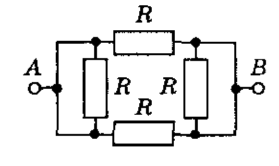


Рис. 12.6

12.36. Какие сопротивления можно получить, имея три резистора по 6 кОм?

12.37. Кусок неизолированного провода сложили вдвое и скрутили. Изменилось ли сопротивление провода и как?

12.38. Шнур, употребляемый для подводки тока к телефону, делают для придания ему гибкости из многих тонких медных изолированных проволок. Рассчитать сопротивление такого провода длиной $l = 3$ м, состоящего из 20 проволок, площадью поперечного сечения $S = 0{,}05$ мм^2 каждая.

12.39. Из проволоки сопротивлением $R = 25$ Ом сделано кольцо. Где следует присоединить провода, подводящие ток (рис. 12.7), чтобы сопротивление кольца было $r = 4$ Ом? Длина проволоки l.

12.40. Определить общее сопротивление схем, изображенных на рисунке 12.8.

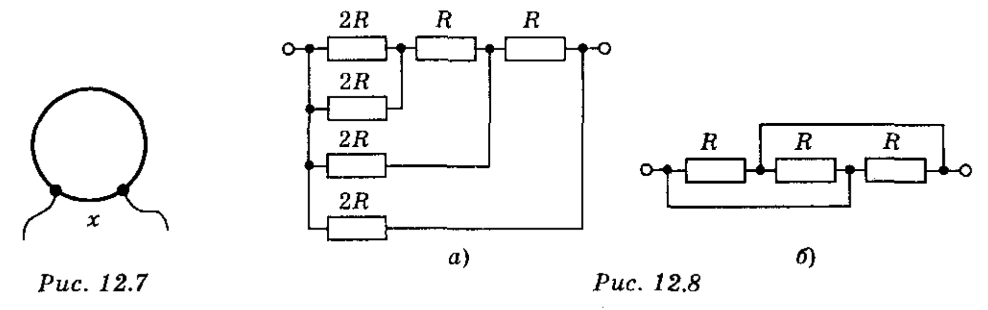


Рис. 12.7 *Рис. 12.8*

12.41. Общее сопротивление двух последовательно соединенных проводников $R_1 = 5$ Ом, а параллельно соединенных — $R_2 = 1{,}2$ Ом. Определить сопротивление каждого проводника.

12.42. Сопротивление одного из двух последовательно включенных проводников в n раз больше сопротивления другого. Во сколько раз k изменится сила тока в цепи (напряжение постоянно), если проводники включить параллельно?

12.43. Определить сопротивление R_0 проволочного каркаса в виде квадрата с диагоналями, спаянными в центре. Каркас включен в цепь точками A и B (рис. 12.9). Сопротивление стороны квадрата r.

B
A

Рис. 12.9

12.44. Определить сопротивление R_0 проволочного каркаса в виде правильного шестиугольника с тремя большими диагоналями, спаянными в центре. Каркас включен в цепь точками A и B (рис. 12.10). Сопротивление стороны каркаса r.

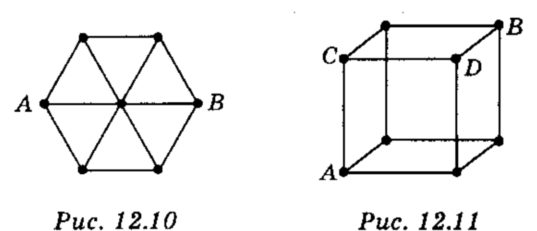


Рис. 12.10 *Рис. 12.11*

12.45. Схема представляет собой куб из проволоки (рис. 12.11). Ребро куба имеет сопротивление R. Чему равно общее сопротивление схемы? Рассмотреть все возможные способы подключения.

12.46. Найти сопротивление бесконечной цепочки (рис. 12.12).

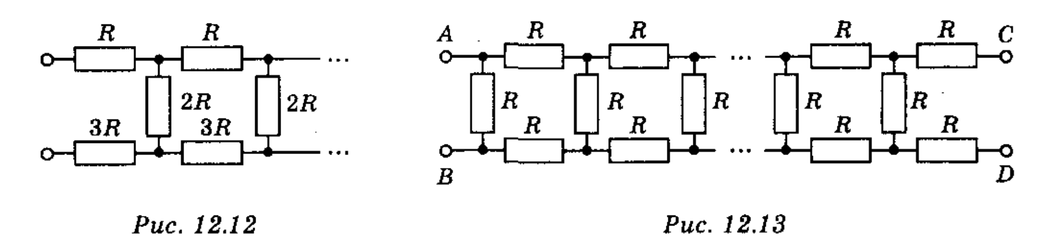


Рис. 12.12 *Рис. 12.13*

12.47. Какое сопротивление необходимо включить между точками C и D (рис. 12.13), чтобы сопротивление всей цепочки не зависело от числа элементарных ячеек?

Закон Ома для участка цепи

12.48. Ток силой 0,01 А опасен для жизни человека. Почему же мы иногда так свободно обращаемся с цепями, в которых сила тока значительно превосходит указанное значение?

12.49. Сопротивление R проводника можно определить по показаниям вольтметра и амперметра[1] с помощью формулы $R = \frac{U}{I}$. На рисун-

[1] Если в задаче особо не оговорено, то амперметр и вольтметр считать идеальными.

11—1695

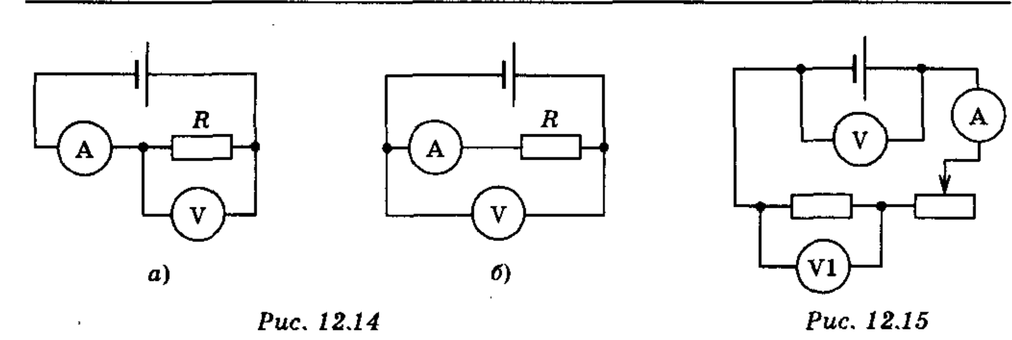


Рис. 12.14 Рис. 12.15

ке 12.14 показаны два варианта цепи для такого измерения. Почему такой способ не очень точен?

12.50. Как изменятся показания амперметра и вольтметра V1 (рис. 12.15), если ползунок реостата переместить из крайнего правого положения в крайнее левое?

12.51. Как изменится сила тока в резисторе, если подаваемое напряжение увеличить в 2 раза, а его сопротивление уменьшить в 3 раза?

12.52. Показания первого и второго вольтметров (рис. 12.16) соответственно равны 1,5 В и 3 В. Сила тока в цепи 0,5 А. Как будут изменяться показания приборов, если ползунок реостата передвигать вправо; влево?

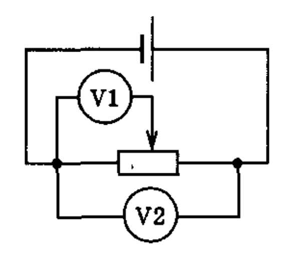


Рис. 12.16

12.53. Участок цепи состоит из стальной проволоки длиной $l_1 = 2$ м с площадью поперечного сечения $S_1 = 0{,}48$ мм^2, соединенной последовательно с никелиновой проволокой длиной $l_2 = 1$ м и площадью поперечного сечения $S_2 = 0{,}21$ мм^2. Какое напряжение надо подвести к участку, чтобы получить силу тока $I = 0{,}6$ А?

12.54. Кабель состоит из двух стальных жил, площадью поперечного сечения $S_1 = 0{,}6$ мм^2 каждая, и из четырех медных жил, площадью поперечного сечения $S_2 = 0{,}85$ мм^2 каждая. Каково падение напряжения на каждом километре кабеля при силе тока $I = 0{,}1$ А?

12.55. Два резистора сопротивлением $R_1 = 8$ кОм и $R_2 = 1$ кОм соединены последовательно (рис. 12.17). Определить показания вольтметра, подключенного к точкам A и C, если сила тока в цепи $I = 3$ мА. Что будет показывать вольтметр, подключенный к точкам A и B, B и C?

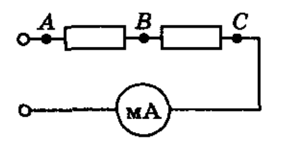


Рис. 12.17

12.56. Вольтметр V1 показывает 12 В (рис. 12.18). Каково показание амперметра и вольтметра V2?

12.57. На участке цепи (рис. 12.19) напряжение U_{AB} = 24 В, сопротивления R_1 = 4 Ом, R_2 = 46 Ом, сопротивление вольтметра $R_в$ = 110 Ом. Определить показания вольтметра.

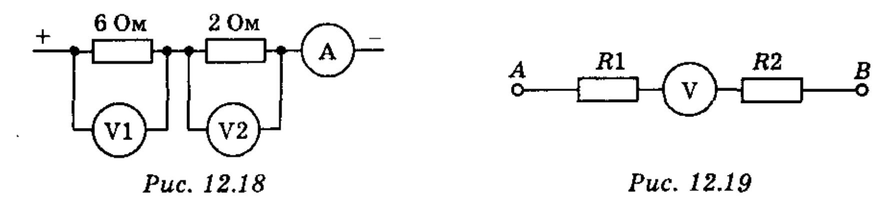


Рис. 12.18 Рис. 12.19

12.58. На рисунке 12.20 приведен график падения напряжения на трех последовательно соединенных проводниках одинаковой длины. Каково отношение сопротивлений этих проводников?

12.59. Сколько ламп с одинаковым сопротивлением нужно соединить последовательно для изготовления елочной гирлянды, если каждая лампа рассчитана на напряжение 6 В и все они будут включены в сеть с напряжением 127 В?

12.60. В цепь включены последовательно три проводника сопротивлением R_1 = 5 Ом, R_2 = 6 Ом, R_3 = 12 Ом (рис. 12.21). Какую силу тока показывает амперметр и каково напряжение между точками A и B, если показание вольтметра U = 1,2 В?

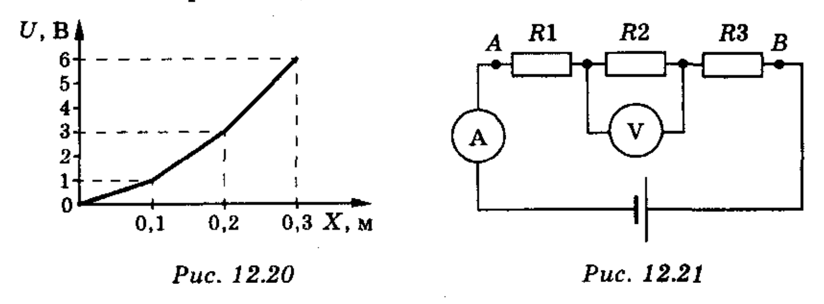


Рис. 12.20 Рис. 12.21

12.61. Нагревательный прибор рассчитан на напряжение U = 120 В и силу тока I = 2 А. Какое сопротивление следует включить последовательно с прибором в цепь напряжением U_1 = 220 В, чтобы сила тока в нем не превышала допустимое значение?

12.62. Электрическую лампу сопротивлением R = 240 Ом, рассчитанную на напряжение U_1 = 120 В, надо питать от сети напряжением U_2 = 220 В. Какой длины нихромовый проводник площадью поперечного сечения S = 0,55 мм^2 надо включить последовательно с лампой?

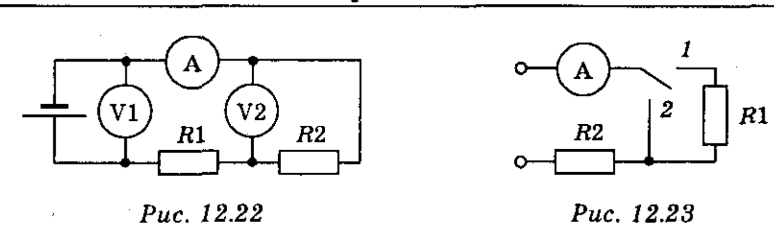


Рис. 12.22 *Рис. 12.23*

12.63. От источника напряжением U = 45 В необходимо питать нагревательную спираль сопротивлением R = 20 Ом, рассчитанную на напряжение U_1 = 30 В. Имеется три реостата, на которых написано: 6 Ом, 2 А; 30 Ом, 4 А; 800 Ом, 0,6 А. Какой из этих реостатов надо взять?

12.64. В цепь включены два проводника R_1 = 5 Ом и R_2 = 10 Ом (рис. 12.22). Вольтметр V1 показывает напряжение 12 В. Определить показания амперметра и вольтметра V2.

12.65. При замыкании переключателя в положение *1* (рис. 12.23) амперметр показывает силу тока I_1 = 1 А, а в положение *2* — силу тока I_2 = 4 А. Определить сопротивление каждого проводника, если напряжение на зажимах цепи U = 12 В.

12.66. Будут ли изменяться показания вольтметра (рис. 12.24), если перемещать ползунок реостата влево или вправо? Будут ли при этом изменяться показания амперметра? Если будут, то как?

12.67. Как изменятся показания измерительных приборов в цепи, схема которой изображена на рисунке 12.25, если параллельно проводнику R3 включить второй проводник такого же сопротивления?

12.68. Лампы и амперметр включены так, как показано на рисунке 12.26. Во сколько раз отличаются показания амперметра при разомкнутом и замкнутом ключе К? Сопротивления ламп одинаковы. Напряжение поддерживается постоянным.

12.69. Три провода — железный, медный и серебряный — одинаковой длины и с одинаковой площадью поперечного сечения включены

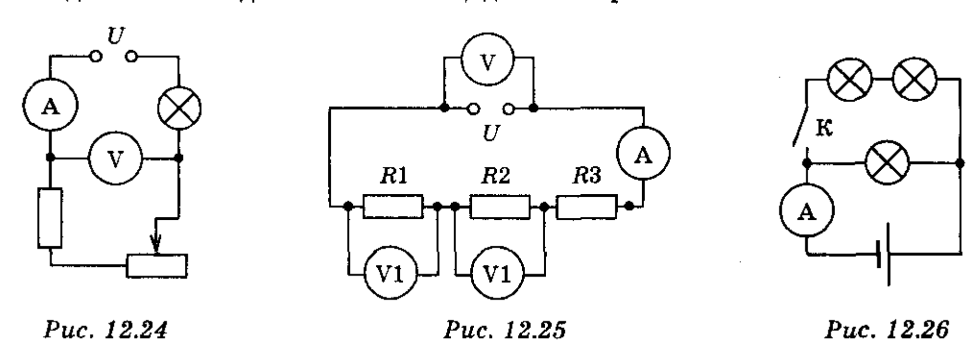


Рис. 12.24 *Рис. 12.25* *Рис. 12.26*

в цепь параллельно. В каком из проводов сила тока наибольшая? наименьшая?

12.70. Кусок проволоки сопротивлением $R = 80$ Ом разрезали на четыре равные части и полученные части соединили параллельно. Каково сопротивление соединенной таким образом проволоки?

12.71. К проводнику, сопротивление которого $R_1 = 1$ кОм, параллельно подключили проводник сопротивлением $R_2 = 1$ Ом. Доказать, что общее их сопротивление будет меньше R_2.

12.72. Амперметр А (рис. 12.27) показывает силу тока $I = 1{,}6$ А при напряжении $U = 120$ В. Сопротивление $R_1 = 100$ Ом. Определить сопротивление R_2 и показания амперметров А1 и А2.

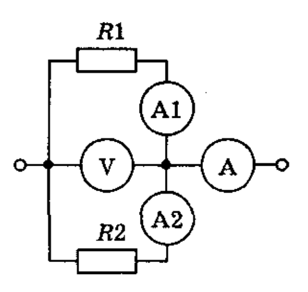


Рис. 12.27

12.73. Медная и стальная проволоки одинаковой длины включены параллельно. Диаметр стальной проволоки вдвое больше диаметра медной. В медной проволоке сила тока $I_1 = 60$ мА. Какова сила тока в стальной проволоке?

12.74. Четыре лампы, рассчитанные на напряжение $U_0 = 3$ В и силу тока $I = 0{,}3$ А каждая, надо включить параллельно и питать от источника напряжением $U = 5{,}4$ В. Резистор какого сопротивления надо включить последовательно с лампами?

12.75. К цепи подведено напряжение $U = 90$ В. Сопротивление лампы *2* (рис. 12.28) равно сопротивлению лампы *1*, а сопротивление лампы *3* в $k = 4$ раза больше сопротивления лампы *1*. Сила тока в неразветвленной цепи $I = 0{,}5$ А. Найти сопротивление каждой лампы, напряжение на лампах *2* и *3* и силу тока в них.

12.76. В электрической цепи (рис. 12.29) амперметр показывает силу тока $I = 2$ А, а сопротивления резисторов — $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 10$ Ом, $R_3 = 15$ Ом, $R_4 = 4$ Ом. Определить силу тока и напряжение на каждом сопротивлении и общее напряжение цепи.

12.77. В цепь (рис. 12.30) подано напряжение $U = 100$ В. Сопротивления всех резисторов одинаковы и равны $R = 21$ Ом каждый. Найти

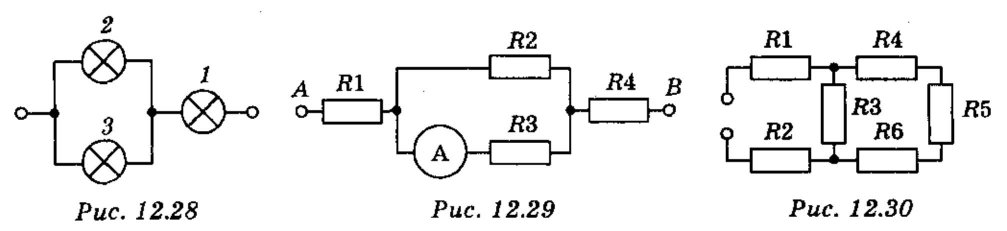


Рис. 12.28 Рис. 12.29 Рис. 12.30

общее сопротивление цепи R_0, а также распределение токов и напряжений (т. е. силу тока и напряжение на каждом сопротивлении).

12.78. К сети напряжением $U = 120$ В присоединяют два резистора. При их последовательном соединении сила тока $I_1 = 3$ А, а при их параллельном соединении сила суммарного тока $I_2 = 16$ А. Чему равны сопротивления этих резисторов?

12.79. Для регулирования напряжения собрана схема, показанная на рисунке 12.31. Сопротивления нагрузки и полное сопротивление регулировочного реостата равны R. Нагрузка подключена к половине реостата. Входное напряжение неизменно и равно U. Во сколько раз изменится напряжение на нагрузке, если ее сопротивление увеличить в 2 раза?

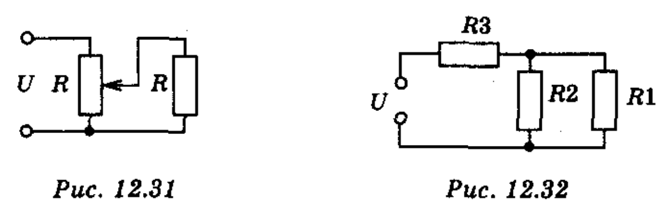


Рис. 12.31 *Рис. 12.32*

12.80. Определить силу тока, протекающего через сопротивление R_1, в цепи, изображенной на рисунке 12.32, учитывая, что $R_1 = 2$ кОм, $R_2 = 1$ кОм, $R_3 = 2$ кОм, $U = 24$ В.

12.81°. Для схемы, изображенной на рисунке 12.33, подобрать такое сопротивление R, чтобы ток, текущий через это сопротивление при замкнутом ключе К1 и разомкнутом ключе К2, был в 3 раза больше тока, текущего через это сопротивление при разомкнутом ключе К1 и замкнутом ключе К2. Сопротивлением источника пренебречь.

12.82. Какой ток проходит через каждое из сопротивлений (рис. 12.34), если $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1$ Ом, $R_5 = 3$ Ом, напряжение $U = 12$ В?

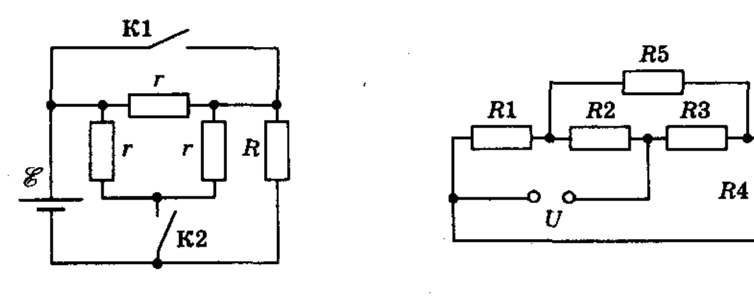


Рис. 12.33 *Рис. 12.34*

Электроизмерительные приборы

12.83. К участку цепи *АВ* (рис. 12.35) приложено постоянное напряжение. Изменится ли показание амперметра, если замкнуть ключ К?

12.84. Какой шунт необходимо присоединить к гальванометру, имеющему шкалу на $N = 100$ делений с ценой деления $n = 1$ мкА и внутренним сопротивлением $R = 180$ Ом, чтобы им можно было бы измерить силу тока до $I = 1$ мА?

12.85. К амперметру подсоединены два шунта (рис. 12.36). Шкала амперметра содержит $N = 100$ делений. Если амперметр включить в цепь, пользуясь клеммами *1—2*, цена деления шкалы амперметра $n_1 = 0{,}01$ А, если пользоваться клеммами *2—3*, цена деления $n_2 = 0{,}02$ А. Определить максимальную силу тока, которую можно измерить амперметром, подключив его к клеммам *1—3*.

12.86. Напряжение на клеммах источника тока $U = 100$ В, вольтметр, включенный в цепь (рис. 12.37), показывает напряжение $U_1 = 36$ В. Найти отношение силы тока, идущего через сопротивление $R = 6$ кОм, к силе тока, идущего через вольтметр.

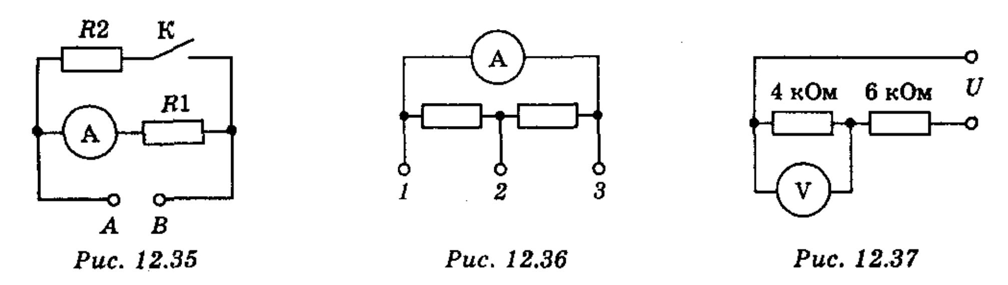


Рис. 12.35 *Рис. 12.36* *Рис. 12.37*

12.87. Вольтметр, соединенный последовательно с сопротивлением $R = 10^4$ Ом, при включении в сеть с напряжением $U = 250$ В показывает $U_1 = 50$ В, а при соединении с сопротивлением R_x показывает $U_2 = 10$ В. Найти внутреннее сопротивление вольтметра r и величину сопротивления R_x.

12.88. Вольтметр, предел измерений которого $U = 100$ В, имеет внутреннее сопротивление $R = 10$ кОм. Какую наибольшую разность потенциалов $\Delta\varphi$ можно измерить этим прибором, если присоединить к нему добавочное сопротивление $R_д = 90$ кОм?

12.89. Гальванометр с сопротивлением $R_г$, шунтированный сопротивлением $R_ш$ и соединенный последовательно с сопротивлением R, применен

в качестве вольтметра. Он дает отклонение стрелки на 1 деление при напряжении 1 В. Каким должно быть сопротивление R_1, чтобы гальванометр давал отклонение на 1 деление при напряжении 10 В?

12.90. Если к вольтметру присоединить некоторое добавочное сопротивление, предел измерения прибора возрастает в n раз. Другой резистор увеличивает предел измерения в m раз. Во сколько раз увеличится предел измерения вольтметра, если оба резистора соединить между собой параллельно и затем подключить к вольтметру последовательно?

12.91. Гальванометр имеет сопротивление R = 200 Ом, и при силе тока $I_г$ = 100 мкА стрелка отклоняется на всю шкалу. Какое добавочное сопротивление $R_д$ (рис. 12.38, *а*) надо подключить, чтобы прибор можно было использовать как вольтметр для измерения напряжения до U = 2 В? Какого сопротивления шунт $R_ш$ надо подключить к гальванометру (рис. 12.38, *б*), чтобы его можно было использовать как миллиамперметр для измерения силы тока до I = 10 мА?

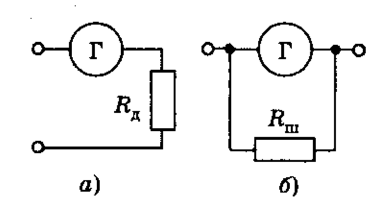
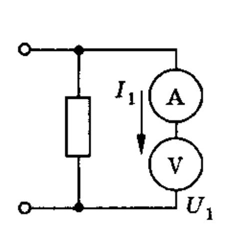


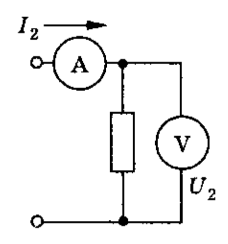
Рис. 12.38

12.92. Если к амперметру, рассчитанному на максимальную силу тока I = 2 А, присоединить шунт сопротивлением $R_ш$ = 0,5 Ом, то цена деления шкалы амперметра возрастает в n = 10 раз. Какое добавочное сопротивление необходимо присоединить к амперметру, чтобы его можно было использовать как вольтметр, измеряющий напряжение до U = 220 В?

12.93. Если к вольтметру подключить последовательно сопротивление, то предел измерения увеличивается в n = 10 раз. Во сколько раз изменится предел измерения вольтметра, если это же сопротивление включить параллельно?

12.94. Одни и те же приборы при соединении их по трем разным схемам (рис. 12.39) дают показания: U_1, I_1; U_2, I_2; U_3, I_3. Найти сопротивление вольтметра R_V, амперметра R_A, резистора R.





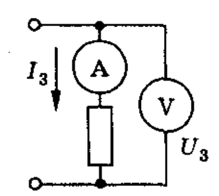


Рис. 12.39

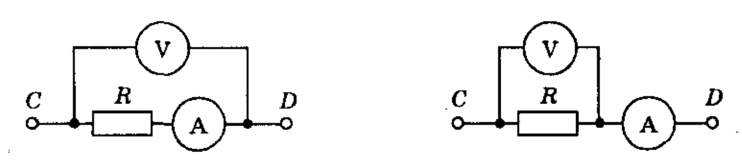


Рис. 12.40

12.95. Сопротивление проводника измеряют по двум электрическим схемам (рис. 12.40), подавая в обоих случаях одинаковое напряжение на клеммы C и D. В первом случае вольтметр показал напряжение $U_1 = 190$ В, а амперметр — силу тока $I_1 = 1{,}9$ А; во втором случае показания были соответственно $U_2 = 170$ В и $I_2 = 2$ А. Найти сопротивление R, используя результаты измерений по обеим схемам.

12.96. Для определения неизвестного сопротивления составлена схема, изображенная на рисунке 12.41. Амперметр показывает силу тока $I = 1$ А, а вольтметр — напряжение $U = 100$ В. Какова величина сопротивления R, если внутреннее сопротивление вольтметра $R_V = 1000$ Ом? Какая ошибка будет допущена в расчетах, если сопротивление вольтметра принять бесконечно большим?

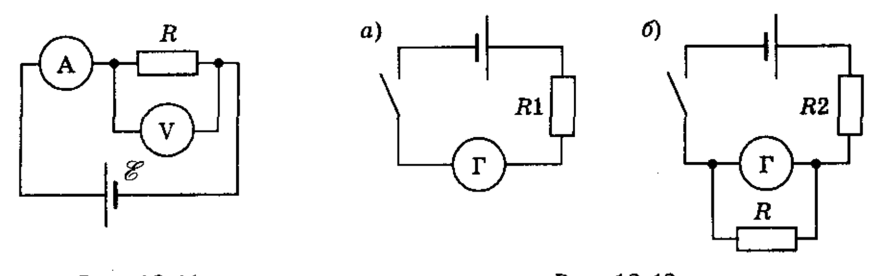


Рис. 12.41 *Рис. 12.42*

12.97. В электрическую цепь, состоящую из источника тока, гальванометра и сопротивления $R_1 = 350$ Ом (рис. 12.42, *а*), включили шунт $R = 10$ Ом и вместо сопротивления R_1 включили сопротивление $R_2 = 100$ Ом (рис. 12.42, *б*). При этом величина тока в гальванометре не изменилась. Определить сопротивление гальванометра. Сопротивлением источника тока пренебречь.

Работа и мощность тока

12.98. Почему вместо перегоревшей пробки предохранителя в патрон нельзя вставлять какой-нибудь металлический предмет, например гвоздь, проволоку?

12.99. Почему провода, подводящие ток к электрической плитке, не нагреваются так сильно, как ее спираль?

12.100. Два троллейбуса с одинаковыми электродвигателями движутся один с большей, другой с меньшей скоростью. Какой из них потребляет бóльшую мощность электрического тока, если считать, что сопротивление движению в обоих случаях одинаково?

12.101. Почему в плавких предохранителях не применяют проволоку из тугоплавких металлов?

12.102. Спираль электрической плитки укоротили. Изменится ли от этого накал плитки, если ее включить в электрическую сеть? Если изменится, то как?

12.103. Будет ли изменяться накал электрической лампы (рис. 12.43) при перемещении ползунка реостата вправо, влево? Будет ли изменяться ее мощность? Ответ обосновать.

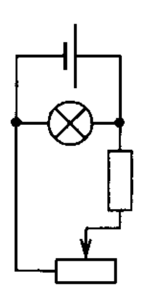


Рис. 12.43

12.104. Продолжительность молнии примерно $t = 0{,}001$ с. Разность потенциалов между ее концами $U = 10^9$ В, а сила тока $I = 2 \cdot 10^4$ А. Оценить «стоимость» молнии по существующим ценам на электроэнергию.

12.105. Какую работу совершает электрический ток в электродвигателе настольного вентилятора за время $t = 30$ с, если при напряжении $U = 220$ В сила тока в двигателе $I = 0{,}1$ А?

12.106. При напряжении $U = 120$ В в электрической лампе за время $t = 0{,}5$ мин израсходована энергия $W = 900$ Дж. Определить силу тока в лампе.

12.107. При изготовлении фотографического снимка ученица включила электрическую лампу, в которой при напряжении $U = 220$ В и силе тока $I = 0{,}5$ А была израсходована энергия $W = 330$ Дж. Какое время работала лампа?

12.108. Электрическая плитка при силе тока $I = 5$ А за время $t = 3$ мин потребляет энергию $W = 1080$ кДж. Рассчитать сопротивление плитки.

12.109. Елка освещена 12 электрическими лампочками, соединенными последовательно и включенными в городскую сеть. Как изменится расход электроэнергии в сети, если количество ламп сократить до 10?

12.110. Какая из двух электрических ламп потребляет бóльшую мощность и во сколько раз: та, которая рассчитана на напряжение $U_1 = 24$ В и силу тока $I_1 = 0{,}7$ А, или та, которая рассчитана на напряжение $U_2 = 120$ В и силу тока $I_2 = 0{,}2$ А?

12.111. Сопротивление нагревательного элемента электрического чайника R = 24 Ом. Найти мощность тока, питающего чайник при напряжении U = 120 В.

12.112. Три лампы одинаковой мощности, рассчитанные на одно и то же напряжение, включены в цепь так, как показано на рисунке 12.44. Одинаков ли накал нитей ламп?

12.113. Три лампы, имеющие одинаковое сопротивление, включены в цепь так, как показано на рисунке 12.45. Во сколько раз мощность тока в лампе *1* больше мощности тока в лампе *2*?

12.114. В сеть напряжением U = 120 В параллельно включены две лампы: Л1 — мощностью P = 300 Вт, рассчитанная на напряжение 120 В, и Л2 — 12-вольтная лампа, включенная последовательно с проводником R (рис. 12.46). Лампа Л2 работает в номинальном режиме. Определить показания амперметров А1 и А и сопротивление проводника, если амперметр А2 показывает силу тока I = 2 А.

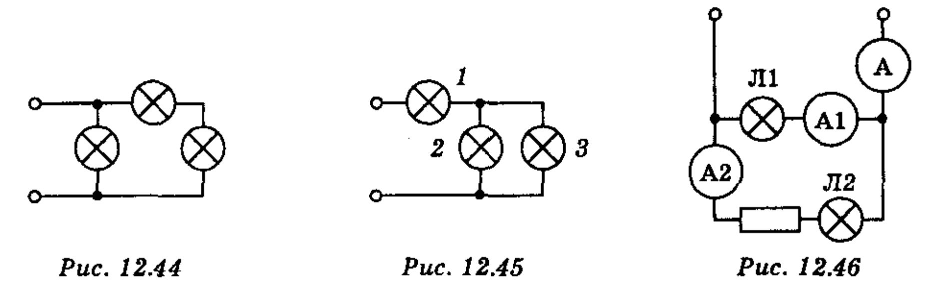


Рис. 12.44 *Рис. 12.45* *Рис. 12.46*

12.115. Карманный фонарь «жучок» имеет генератор мощностью P = 0,5 Вт и может питать одну лампу при напряжении U = 2,5 В. Определить силу тока при этом напряжении в генераторе. Ярче ли будет гореть лампа, вставленная в фонарь, на которой написано 2,5 В, 0,5 А?

12.116. Какие сопротивления имеют 40- и 75-ваттная лампы, рассчитанные на включение в сеть с напряжением U = 120 В? Определить силу тока в каждой лампе.

12.117. Какой длины надо взять никелиновый проводник диаметром d = 0,5 мм, чтобы изготовить электрический камин, работающий при напряжении U = 220 В и выделяющий $Q = 1{,}68 \cdot 10^6$ Дж энергии в час? Определить мощность нагревателя.

12.118. При ремонте электроплитки спираль была укорочена на 0,1 первоначальной длины. Во сколько раз изменилась мощность плитки?

12.119. В бытовой электроплитке, рассчитанной на напряжение U = 220 В, имеются две спирали, сопротивление каждой в рабочем режиме постоянно — R = 80,7 Ом. С помощью переключателя в сеть мож-

но включать одну спираль, две спирали последовательно и две спирали параллельно. Найти мощность плитки в каждом случае.

12.120*. Протекающий через сопротивление $R = 100$ Ом ток изменяется со временем по закону $I = k\sqrt{t}$, где $k = 1$ А · с$^{-1/2}$. Какое время существовал ток в цепи, если на сопротивлении выделилось количество теплоты $Q = 1{,}8$ кДж?

12.121. Рассчитать, можно ли две лампочки накаливания мощностью $P_1 = 40$ Вт и $P_2 = 60$ Вт, рассчитанные на напряжение $U_0 = 110$ В, включить в цепь с напряжением $U = 220$ В, соединив их последовательно.

12.122. В электрическую цепь включены последовательно два сопротивления: медная и стальная проволоки. Длина медной проволоки в 2 раза больше, чем стальной, а площадь сечения стальной проволоки в 4 раза больше, чем медной. Найти отношение напряжений на этих сопротивлениях и отношение мощностей тока.

12.123. Две спирали из различных материалов соединены параллельно. Отношение их длин 15 : 14, а площадей поперечных сечений — 5 : 4. Оказалось, что за одинаковое время в них выделяется одинаковое количество теплоты. Определить отношение удельных сопротивлений этих материалов.

12.124. Три проводника с одинаковыми сопротивлениями подключаются к источнику постоянного напряжения сначала параллельно, а затем последовательно. В каком случае потребляется бо́льшая мощность и во сколько раз?

12.125. Мальчик хочет сделать гирлянду из пяти электрических лампочек, рассчитанных на напряжение $U_л = 100$ В, взяв три лампочки, мощность которых $P_1 = 40$ Вт, и две лампочки мощностью $P_2 = 60$ Вт. Каким образом следует их соединить для включения в сеть напряжением $U = 200$ В, чтобы все они горели нормальным накалом?

12.126. Десять параллельно соединенных ламп, сопротивлением $R = 0{,}5$ кОм каждая, рассчитанных на напряжение $U_1 = 120$ В, подсоединены последовательно к реостату, напряжение сети $U_2 = 220$ В. Какова мощность электрического тока в реостате?

12.127. Лампа накаливания имеет сопротивление нити в нагретом состоянии $R = 300$ Ом и работает от сети напряжением $U = 127$ В. На сколько градусов нагреется сосуд с водой за время $\tau = 5$ мин, если в него поместить лампочку? Теплоемкость сосуда $C = 10$ Дж/К, масса воды $m = 1{,}2$ кг.

12.128. Электрокипятильник имеет две спирали. При включении одной из них вода в сосуде закипает через время t_1 = 10 мин, а при включении другой — через t_2 = 20 мин. Через сколько минут закипит вода (в том же сосуде и той же массы), если обе спирали включить последовательно? параллельно?

12.129. К концам свинцовой проволоки длиной l = 1 м подали напряжение U = 10 В. Какое время пройдет с начала пропускания тока до момента, когда свинец начнет плавиться? Начальная температура проволоки t_0 = 20 °С. Потерю тепла в окружающее пространство не учитывать.

12.130. Максимальная сила тока, которую выдерживает проволока сопротивлением R, равна I. Какую наибольшую мощность может иметь нагреватель из этой проволоки при включении в сеть напряжением $U << IR$? Проволоку можно разрезать и соединять произвольно.

12.131. От генератора, ЭДС которого $\mathcal{E}$ = 500 В, требуется передать энергию на расстояние l = 2,5 км. Мощность потребителя энергии P = 10 кВт. Оценить потери мощности в сети, если диаметр медных подводящих проводов d = 1,5 см.

12.132. Какую работу совершает электродвигатель пылесоса за 25 мин, если при напряжении 220 В сила тока в электродвигателе 1,25 А, а КПД его 80% ?

12.133. Электродвигатель подъемного крана подключен к источнику тока напряжением U = 380 В, при этом сила тока в его обмотке I = 20 А. Каков КПД установки, если груз массой m = 1 т кран поднимает на высоту h = 19 м за время t = 50 с?

12.134. На изготовление кипятильника израсходована нихромовая проволока объемом V = 10 см^3. Какую массу воды m можно нагревать ежеминутно от температуры t_1 = 10 °С до температуры t_2 = 100 °С этим кипятильником при плотности тока в нем j = 3 А/мм^2? КПД кипятильника η = 70%.

12.135. Электроэнергия генератора мощностью P передается потребителю по проводам, общее сопротивление которых r, напряжение генератора U. Определить КПД линии передачи, т. е. отношение мощности, выделяемой на полезной нагрузке, к мощности генератора. Внутренним сопротивлением генератора пренебречь.

12.136. Линия электропередачи длиной l = 100 км работает при напряжении U = 200 000 В. Определить КПД линии, т. е. отношение напряжения на нагрузке к напряжению, подводимому к линии. Линия выполнена из алюминиевого кабеля площадью поперечного сечения S = 150 мм^2. Передаваемая мощность P = 30 000 кВт.

12.137. На участке пути электровоз развивает силу тяги $F = 2{,}5 \cdot 10^4$ Н. При этом напряжение на его двигателе $U = 1$ кВ и сила тока $I = 600$ А. Определить скорость движения электровоза, если известно, что КПД его двигателя $\eta = 80\%$.

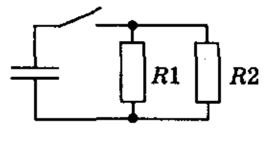


Рис. 12.47

12.138. Трамвай массой $m = 22{,}5$ т движется со скоростью $v = 36$ км/ч по горизонтальному пути. Коэффициент трения $\mu = 0{,}01$, напряжение в линии $U = 500$ В, общий КПД двигателя и передачи $\eta = 75\%$. Определить силу тока в моторе. С какой скоростью будет двигаться трамвай вверх по горе с уклоном $\alpha = 0{,}03$, потребляя ту же мощность?

12.139. Какую массу нефти нужно сжечь на тепловой электростанции, чтобы по телевизору мощностью $P = 250$ Вт посмотреть фильм продолжительностью $t = 1{,}5$ ч? КПД электростанции $\eta = 35\%$.

12.140. Конденсатор емкостью $C = 200$ мкФ, заряженный до напряжения $U = 100$ В, подключают к параллельно соединенным сопротивлениям $R_1 = 10$ Ом и $R_2 = 20$ Ом (рис. 12.47). Какое количество тепла выделится в каждом сопротивлении при полной разрядке конденсатора?

Электродвижущая сила. Закон Ома для неоднородного участка цепи, для замкнутой цепи

12.141. Почему считается, что вольтметр (рис. 12.48) измеряет напряжение на концах внешней цепи? Почему не на внутренней? При каком условии вольтметр измерит ЭДС источника?

12.142. Найти ошибки в схемах (рис. 12.49). В каких схемах допущено короткое замыкание?

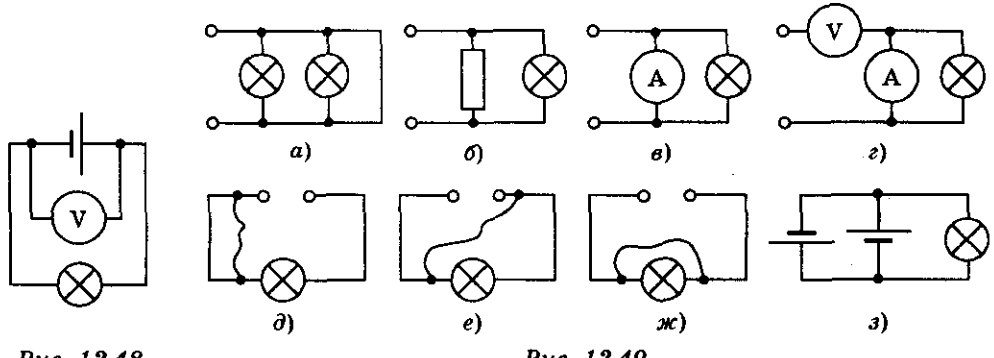


Рис. 12.48 *Рис. 12.49*

12.143. При коротком замыкании электрические лампы в помещении гаснут. Почему?

12.144. Можно ли сделать короткое замыкание, исправляя выключатель?

12.145. Для контроля за предохранителями пользуются сигнальными лампами, включенными по схемам, показанным на рисунке 12.50. Как будут вести себя лампы, когда предохранители исправны? перегорели?

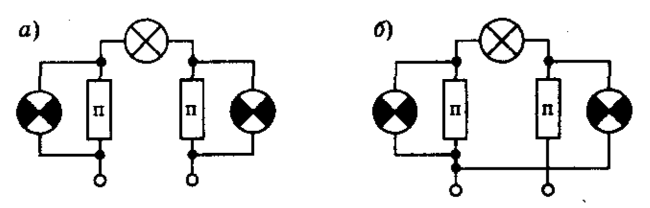


Рис. 12.50

12.146. Какова ЭДС источника, если сторонние силы совершают работу $A = 20$ Дж при перемещении заряда $q = 10$ Кл внутри источника от одного полюса к другому?

12.147. ЭДС источника равна 12 В. Какую работу совершают сторонние силы при перемещении заряда 50 Кл внутри источника от одного полюса к другому?

12.148. При питании лампочки от элемента с электродвижущей силой $\mathcal{E} = 1{,}5$ В сила тока в цепи $I = 0{,}2$ А. Найти работу сторонних сил в элементе за время $t = 1$ мин.

12.149. Гальванический элемент с ЭДС $\mathcal{E} = 1{,}5$ В и внутренним сопротивлением $r = 0{,}5$ Ом замкнут накоротко. Определить силу тока короткого замыкания.

12.150. ЭДС элемента $\mathcal{E} = 1{,}5$ В, а внутреннее сопротивление $r = 0{,}50$ Ом. Какой будет сила тока во внешней цепи, если ее сопротивление равно 0,50; 1; 2 Ом?

12.151. Каково внутреннее сопротивление элемента, если его ЭДС $\mathcal{E} = 1{,}2$ В и при внешнем сопротивлении $R = 5$ Ом сила тока $I = 0{,}2$ А?

12.152. ЭДС батарейки от карманного фонаря $\mathcal{E} = 3{,}7$ В, внутреннее сопротивление $r = 1{,}5$ Ом. Батарейка замкнута на сопротивление $R = 11{,}7$ Ом. Каково напряжение на зажимах батарейки?

12.153. ЭДС батареи $\mathcal{E} = 6$ В, внешнее сопротивление цепи $R = 11{,}5$ Ом, а внутреннее — $r = 0{,}5$ Ом. Найти силу тока в цепи, напряжение на зажимах батареи и падение напряжения внутри батареи.

12.154. К источнику с ЭДС $\mathscr{E}$ = 12 В и внутренним сопротивлением r = 1 Ом подключен реостат, сопротивление которого R = 5 Ом. Найти силу тока в цепи и напряжение на зажимах источника.

12.155. Каково напряжение U на полюсах источника с ЭДС, равной $\mathscr{E}$, когда сопротивление внешней части цепи равно внутреннему сопротивлению источника?

12.156. При подключении лампочки к источнику тока с $\mathscr{E}$ = 4,5 В напряжение на лампочке U = 4 В, а ток в ней I = 0,25 А. Каково внутреннее сопротивление источника?

12.157. Источник с ЭДС $\mathscr{E}$ = 2,0 В и внутренним сопротивлением r = 0,8 Ом замкнут никелиновой проволокой длиной l = 2,1 м и площадью поперечного сечения S = 0,21 мм^2. Каково напряжение на зажимах источника?

12.158. Какого диаметра был выбран железный провод длиной l = 5 м, если после замыкания им источника тока с ЭДС $\mathscr{E}$ = 1,5 В и внутренним сопротивлением r = 0,2 Ом сила тока в нем I = 0,6 А?

12.159. В проводнике сопротивлением R = 2 Ом, подключенном к элементу с $\mathscr{E}$ = 1,1 В, сила тока I = 0,5 А. Какова сила тока при коротком замыкании элемента?

12.160. При сопротивлении внешней цепи R = 1 Ом напряжение на зажимах источника U = 1,5 В, а при сопротивлении R_1 = 2 Ом напряжение U_1 = 2 В. Найти ЭДС и внутреннее сопротивление источника.

12.161. При подключении к источнику тока сопротивления R_1 = 16 Ом сила тока в цепи I_1 = 1 А, а при подключении сопротивления R_2 = 8 Ом — сила тока I_2 = 1,8 А. Найти внутреннее сопротивление и ЭДС батареи.

12.162. В замкнутой цепи при уменьшении внешнего сопротивления на $\eta_1 = 20\%$ ток увеличился на $\eta_2 = 20\%$. На сколько процентов η_4 увеличился бы ток, если бы внешнее сопротивление уменьшили на $\eta_3 = 40\%$?

12.163. Вольтметр, подключенный к зажимам источника тока, показал напряжение U_1 = 6 В. Когда к тем же зажимам подключили еще и резистор, вольтметр стал показывать напряжение U_2 = 3 В. Что покажет вольтметр, если вместо одного подключить два таких резистора, соединенных последовательно? параллельно?

12.164. В схеме, изображенной на рисунке 12.51, $\mathscr{E}$ = 20 В, R_1 = 1 Ом, R_2 = 4 Ом и сила тока на сопротивлении R_1 — I_1 = 4 А. Найти внутреннее сопротивление батареи r.

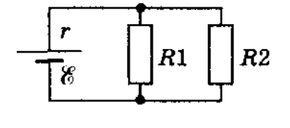


Рис. 12.51

12.165. В схеме, изображенной на рисунке 12.52, $\mathscr{E} = 4$ В, $r = 1$ Ом, $R_1 = R_2 = 2$ Ом. Найти разность потенциалов между точками A и B, т. е. $\varphi_A - \varphi_B$.

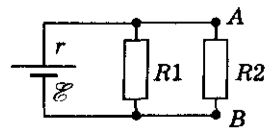


Рис. 12.52

12.166. Зависимость напряжения на клеммах аккумулятора от сопротивления нагрузки выражается равенством $U = 15R/(2R + 3)$. Найти ЭДС аккумулятора и его внутреннее сопротивление.

12.167. При подключении лампочки к батарее элементов с ЭДС $\mathscr{E} = 30$ В и внутренним сопротивлением $r = 2$ Ом напряжение на зажимах источника $U = 28$ В. Найти силу тока в цепи. Какую работу совершают сторонние силы источника за время $t = 5$ мин? Какова работа тока во внешней и внутренней частях цепи за то же время?

12.168. К источнику тока с ЭДС $\mathscr{E} = 3$ В и внутренним сопротивлением $r = 1$ Ом подключено сопротивление $R = 2$ Ом. Найти полезную мощность источника тока, мощность источника тока и потери мощности в цепи.

12.169. ЭДС источника $\mathscr{E} = 2$ В, его внутреннее сопротивление $r = 1$ Ом. Каков ток в цепи, если внешняя часть ее потребляет мощность $P = 0{,}75$ Вт? Почему получилось два ответа?

12.170. Доказать, что при коротком замыкании напряжение на зажимах источника равно нулю. При каких двух значениях сопротивление внешней части цепи мощность тока в ней равна нулю?

12.171. У элемента с ЭДС $\mathscr{E} = 6$ В сила тока при коротком замыкании $I_{max} = 3$ А. При каком внешнем сопротивлении, подключенном к источнику, полезная мощность в цепи будет максимальна? Чему она равна?

12.172. При подсоединении к источнику тока резистора $R_1 = 18$ Ом на нем выделяется мощность $P_1 = 18$ Вт, при подсоединении резистора $R_2 = 3$ Ом выделяется мощность $P_2 = 12$ Вт. Найти силу тока короткого замыкания.

12.173. Аккумулятор с внутренним сопротивлением $r = 0{,}08$ Ом при силе тока $I_1 = 4$ А отдает во внешнюю цепь мощность $P_1 = 8$ Вт. Сопротивление нагрузки уменьшается так, что ток становится $I_2 = 6$ А. Какая мощность P_2 выделится при этом на нагрузке?

12.174. Источник постоянного тока замыкается один раз проводником сопротивлением $R_1 = 4$ Ом, другой раз — проводником сопротивлением $R_2 = 9$ Ом. В том и другом случае количество тепла, выделяющегося в проводниках за одно и то же время, оказывается одинаковым. Каково внутреннее сопротивление источника?

12.175. Источник тока с внутренним сопротивлением r и ЭДС $\mathscr{E}$ замкнут на три резистора с сопротивлением $R = 3r$ каждый, соединенные последовательно. Во сколько раз изменится сила тока в цепи, напряжение на зажимах источника и полезная мощность, если резисторы соединить параллельно?

12.176. Аккумулятор с ЭДС $\mathscr{E} = 2{,}2$ В и внутренним сопротивлением $r = 1$ Ом замкнут медной проволокой, масса которой $m = 30{,}3$ г. Сопротивление проволоки подобрано так, что во внешней цепи выделяется наибольшая мощность. На сколько градусов нагреется проволока в течение $\tau = 5$ мин? Потерями тепла пренебречь.

12.177. При подключении лампочки к источнику тока с ЭДС $\mathscr{E} = 10$ В напряжение на ней $U = 8$ В. Найти КПД источника тока.

12.178. К источнику тока, внутреннее сопротивление которого $r = 1$ Ом, подключен резистор сопротивлением $R = 9$ Ом. Найти коэффициент полезного действия источника тока.

12.179. При подключении к источнику тока резистора $R_1 = 18$ Ом, а затем последовательно с ним резистора $R_2 = 63$ Ом коэффициент полезного действия возрос в $n = 2$ раза. Определить сопротивление источника тока.

12.180. Лампочки, сопротивления которых $R_1 = 3$ Ом и $R_2 = 12$ Ом, подключенные поочередно к некоторому источнику тока, потребляют одинаковую мощность. Найти внутреннее сопротивление источника тока и КПД цепи в каждом случае.

12.181. Замкнутая цепь состоит из источника тока с ЭДС $\mathscr{E}$ и внутренним сопротивлением r и нагрузки — реостата. При изменении сопротивления реостата R изменяется сила тока в цепи. Выразить мощность тока P, выделяемую на нагрузке, как функцию силы тока I. Построить график этой функции. При каком токе I_0 мощность, выделяемая на нагрузке, будет наибольшей? Определить эту мощность. Найти КПД источника η и построить график зависимости $\eta(I)$.

12.182. Замкнутая цепь состоит из источника с ЭДС $\mathscr{E}$ и внутренним сопротивлением r и нагрузки — реостата. Сопротивление реостата R можно изменять. Записать выражение для силы тока I, напряжения U на реостате, мощности P, выделяемой на реостате, полной мощности P_0 и КПД источника η в зависимости от величины R. Построить графики этих функций. При каком значении сопротивления R_0 достигается максимальная мощность на нагрузке? Определить максимальную мощность и КПД источника тока η при этом.

12.183*. В схеме омметра (прибора для измерения сопротивления) есть источник тока с малым внутренним сопротивлением и резистор с

сопротивлением $R = 100$ Ом. Шкала проградуирована от нуля до бесконечности. При коротком замыкании клемм A и B (рис. 12.53) стрелка отклоняется на всю шкалу (положение «0»). Какому сопротивлению соответствует отклонение стрелки на половину шкалы? на ее четверть? Отклонение стрелки считать пропорциональным протекающему току.

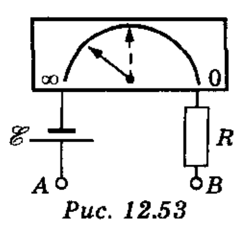


Рис. 12.53

12.184. Найти ЭДС и внутреннее сопротивление батареи из двух одинаковых источников тока, соединенных последовательно, если ЭДС каждого источника $\mathscr{E} = 4$ В, а внутреннее сопротивление $r = 1$ Ом.

12.185. Три последовательно соединенных аккумулятора, с ЭДС $\mathscr{E} = 1{,}2$ В и внутренним сопротивлением $r = 0{,}3$ Ом каждый, используются для питания лампы сопротивлением $R = 16$ Ом. Соединение батареи с лампой осуществляется алюминиевым проводом длиной $l = 2$ м и поперечным сечением $S = 0{,}1$ мм^2. Определить падение напряжения на лампе.

12.186. Батарейка для карманного фонаря имеет ЭДС $\mathscr{E} = 4{,}5$ В и внутреннее сопротивление $r = 3{,}5$ Ом. Сколько таких батареек надо соединить последовательно, чтобы питать лампу, рассчитанную на напряжение $U = 127$ В и мощность $P = 60$ Вт?

12.187. Самая большая в мире батарея гальванических элементов, собранная русским физиком В. В. Петровым в 1802 г., состояла из 2100 медных и 2100 цинковых кружков. Электролит — раствор нашатыря. Определить ЭДС и внутреннее сопротивление батареи, если ЭДС одного элемента $\mathscr{E}_1 = 0{,}7$ В, а сопротивление $r_1 = 0{,}02$ Ом. Определить силу тока короткого замыкания этой батареи.

12.188. Найти ЭДС и внутреннее сопротивление батареи из двух одинаковых источников тока, соединенных параллельно. ЭДС каждого элемента $\mathscr{E} = 3$ В, внутреннее сопротивление каждого элемента $r = 2$ Ом.

12.189. Батарея из двух элементов питает внешнюю цепь, сопротивление которой $R = 2$ Ом, ЭДС каждого элемента $\mathscr{E} = 1{,}45$ В, внутреннее сопротивление $r = 0{,}5$ Ом. а) Найти силу тока в цепи при последовательном и параллельном соединении элементов. б) При каком соотношении между внутренним сопротивлением элемента и внешним сопротивлением цепи для получения наибольшей силы тока выгоднее соединить эти элементы последовательно и при каком параллельно?

12.190. Источник, ЭДС которого $\mathscr{E}_1 = 15$ В, создает в цепи силу тока $I_1 = 1$ А. Чтобы увеличить силу тока, с нему присоединили источник, ЭДС которого $\mathscr{E}_2 = 10$ В. Однако как при последовательном, так и при параллельном соединении источников сила тока продолжала оставаться

прежней. Найти внутреннее сопротивление каждого источника и сопротивление внешней цепи.

12.191. Как при последовательном, так и при параллельном соединении двух одинаковых источников тока на внешнем сопротивлении выделяется мощность $P = 80$ Вт. Какая мощность P_1 будет выделяться на этом же сопротивлении, если замкнуть на него лишь один источник тока?

12.192. Батарея из n одинаковых аккумуляторов замкнута на внешнее сопротивление R. Каково внутреннее сопротивление r одного аккумулятора, если сила тока, идущего по сопротивлению R, одинакова и при параллельном и при последовательном соединении аккумуляторов в батарею?

12.193. Если n одинаковых источников ЭДС с внутренним сопротивлением r сначала соединить последовательно и замкнуть на некоторое сопротивление, а затем параллельно и замкнуть на то же сопротивление, то выделившаяся на сопротивлении мощность изменится в γ раз. Определить величину сопротивления.

12.194. Найти ЭДС и внутреннее сопротивление батареи, состоящей из трех источников тока (рис. 12.54), если $\mathscr{E}_1 = \mathscr{E}_2 = \mathscr{E}_3$ и $r_1 = r_2 = r_3$.

R1 R2
$\mathscr{E}_1, r_1$ $\mathscr{E}_2, r_2$ $\mathscr{E}_3, r_3$

Рис. 12.54

12.195. В батарее, изображенной на рисунке 12.54, $\mathscr{E}_1 = 10$ В, $r_1 = 1$ Ом, $\mathscr{E}_2 = 8$ В, $r_2 = 2$ Ом, $\mathscr{E}_3 = 15$ В, $r_3 = 3$ Ом; $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 1$ Ом. Найти ЭДС и внутреннее сопротивление этой батареи.

12.196. Вычислить ЭДС и внутреннее сопротивление батареи, состоящей из трех источников ЭДС (рис. 12.55), если ЭДС источников соответственно 10 В, 20 В, 30 В, а их внутренние сопротивления одинаковы и равны 1 Ом.

12.197. В некоторой цепи имеется участок, изображенный на рисунке 12.56, $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = 2$ Ом, $R_3 = 3$ Ом, $\varphi_1 = 10$ В, $\varphi_2 = 9$ В, $\varphi_3 = 6$ В. Найти силу тока в каждом сопротивлении и потенциал φ_0.

12.198. Определить разность потенциалов между клеммами в схеме, изображенной на рисунке 12.57, если $\mathscr{E} = 4$ В, $R_1 = 3$ Ом, $R_2 = 1$ Ом.

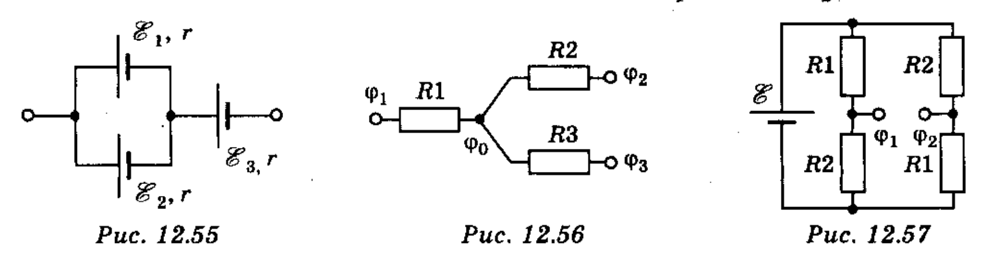


Рис. 12.55 *Рис. 12.56* *Рис. 12.57*

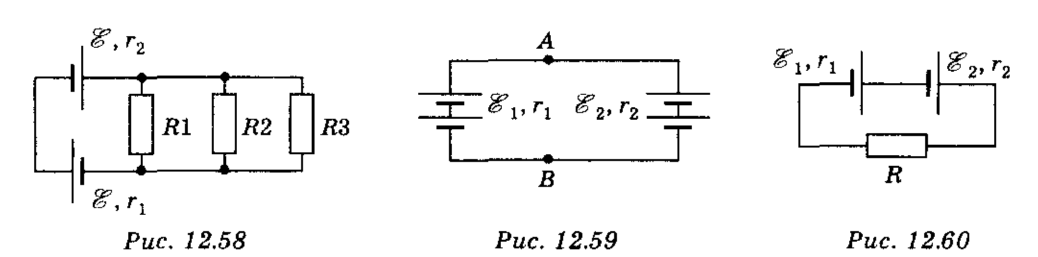


Рис. 12.58 Рис. 12.59 Рис. 12.60

12.199. Имеется два последовательно соединенных элемента с одинаковой ЭДС, но с разным внутренним сопротивлением r_1 и r_2. При каком внешнем сопротивлении разность потенциалов $\Delta\varphi$ на зажимах одного из элементов равна нулю и на каком?

12.200. При каком соотношении между сопротивлениями r_1, r_2, R_1, R_2, R_3 разность потенциалов на зажимах одного из элементов в схеме на рисунке 12.58 будет равна нулю? Электродвижущая сила источников одинакова.

12.201. Два аккумулятора, ЭДС которых $\mathscr{E}_1 = 57$ В и $\mathscr{E}_2 = 32$ В, соединены параллельно (рис. 12.59). Чему равна разность потенциалов между точками A и B, если отношение внутренних сопротивлений аккумуляторов $r_1/r_2 = 1{,}5$? Сопротивлением соединительных проводов пренебречь.

12.202. Найти разность потенциалов на зажимах каждого источника тока (рис. 12.60), если $r_1 = 1$ Ом, $r_2 = 1{,}5$ Ом, $R = 0{,}5$ Ом, $\mathscr{E}_1 = \mathscr{E}_2 = 2$ В.

12.203. В цепь включены три источника ЭДС и два резистора (рис. 12.61). Определить ЭДС и внутреннее сопротивление эквивалентного источника, действующего в цепи, а также разность потенциалов между точками A и B, если $\mathscr{E}_1 = 10$ В, $\mathscr{E}_2 = 20$ В, $\mathscr{E}_3 = 15$ В, $r_1 = 1$ Ом, $r_2 = 2$ Ом, $r_3 = 1{,}5$ Ом, $R_1 = 4{,}5$ Ом, $R_2 = 16$ Ом.

12.204. В схему включены три батареи (рис. 12.62) $\mathscr{E}_1 = 3$ В, $\mathscr{E}_2 = 2$ В, $\mathscr{E}_3 = 3$ В, $r_1 = 1$ Ом, $r_2 = 2$ Ом, $r_3 = 3$ Ом. Найти напряжение на зажимах первой батареи.

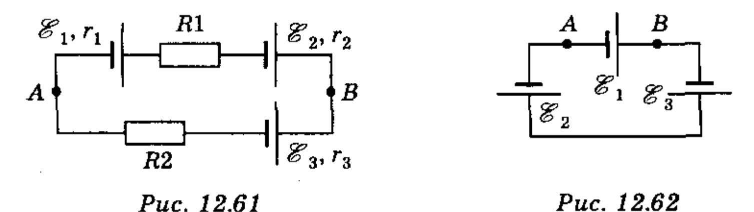


Рис. 12.61 Рис. 12.62

12.205. Два источника включены в цепь, как показано на рисунке 12.63. Определить разность потенциалов между точками A и B при разомкнутой внешней цепи, если $\mathscr{E}_1 = 5$ В, $r_1 = 1$ Ом, $\mathscr{E}_2 = 3$ В, $r_2 = 2$ Ом. Какой станет разность потенциалов между точками A и B, если замкнуть ключ К? Сопротивление $R = 5$ Ом.

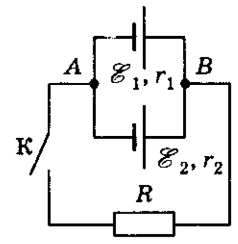


Рис. 12.63

12.206. Аккумулятор с ЭДС $\mathscr{E} = 12$ В и внутренним сопротивлением $r = 1$ Ом заряжается при силе тока $I = 3$ А. Найти напряжение на клеммах аккумулятора.

12.207. Когда аккумулятор заряжают при силе тока $I_1 = 1$ А, напряжение на его клеммах $U_1 = 20$ В, а когда тот же аккумулятор заряжают при силе тока $I_2 = 0{,}5$ А, напряжение на его клеммах $U_2 = 19$ В. Найти ЭДС и внутреннее сопротивление аккумулятора.

12.208. Аккумулятор подзаряжают от сети с напряжением $U_1 = 15$ В. ЭДС аккумулятора $\mathscr{E} = 12$ В, внутреннее сопротивление $r = 15$ Ом. Какая часть мощности η, потребляемой от сети, идет на подзарядку аккумулятора? Чему равна эта мощность?

12.209. В некоторой цепи имеется участок, показанный на рисунке 12.64. ЭДС первого источника $\mathscr{E}_1 = 10$ В, внутреннее сопротивление $r_1 = 1$ Ом, второго — $\mathscr{E}_2 = 12$ В и $r_2 = 4$ Ом, сила тока $I = 3$ А. Найти силу токов I_1 и I_2, протекающих через источники.

12.210. Напряженность поля в конденсаторе, встроенном в схему (рис. 12.65), $E = 50$ В/см. Расстояние между пластинами конденсатора $d = 0{,}5$ мм, площадь пластин $S = 100$ см^2, сопротивление $R = 5$ Ом, внутреннее сопротивление батареи $r = 0{,}1$ Ом. Определить ЭДС батареи, силу притяжения пластин, заряд пластин.

12.211. Найти напряжения на конденсаторах C_1 и C_2 в цепи, показанной на рисунке 12.66, если известно, что при коротком замыкании сила тока, проходящего через источник, возрастает в n раз. ЭДС источника тока $\mathscr{E}$.

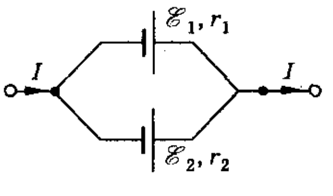


Рис. 12.64

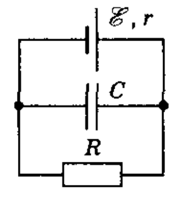


Рис. 12.65

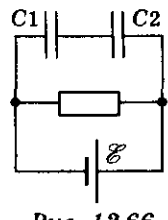


Рис. 12.66

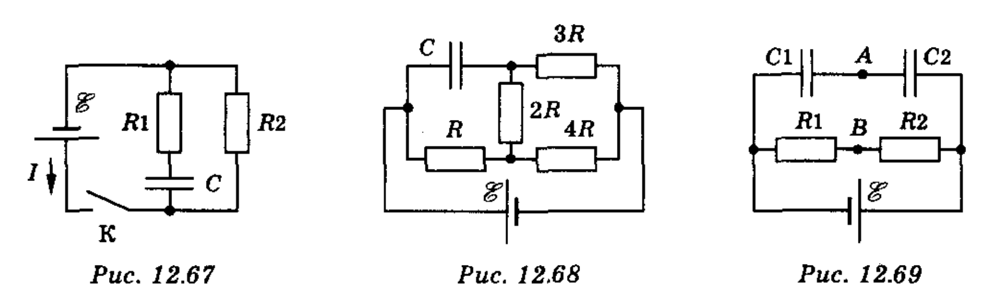


Рис. 12.67 Рис. 12.68 Рис. 12.69

12.212. В схему (рис. 12.67) включены источник тока с ЭДС $\mathscr{E} = 100$ В, сопротивления $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = 5$ Ом и конденсатор емкостью $C = 10^{-3}$ Ф. Определить минимальное и максимальное значения силы тока в цепи после замыкания ключа К.

12.213. Определить заряд конденсатора, включенного в схему, показанную на рисунке 12.68. Внутренним сопротивлением источника пренебречь.

12.214. На рисунке 12.69 показана схема, в которой $C_1 = 0{,}1$ мкФ, $C_2 = 0{,}2$ мкФ, $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = 8$ Ом и $\mathscr{E} = 3$ В. Определить разность потенциалов между точками B и A.

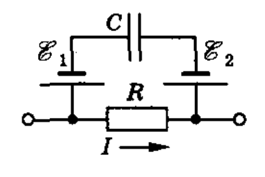


Рис. 12.70

12.215. Определить заряд конденсатора, включенного в схему (рис. 12.70), если известны $\mathscr{E}_1$, $\mathscr{E}_2$ ($\mathscr{E}_1 > \mathscr{E}_2$), C, R и I.

12.216. В некоторой цепи имеется участок, изображенный на рисунке 12.71. Емкость конденсатора $C = 10$ мкФ, его заряд $q = 4 \cdot 10^{-5}$ Кл и ЭДС источника тока $\mathscr{E} = 1$ В. Найти разность потенциалов между точками A и B.

12.217. В схему (рис. 12.72) включены три конденсатора емкостью $C_1 = 20$ мкФ, $C_2 = 30$ мкФ и $C_3 = 60$ мкФ, два источника с ЭДС $\mathscr{E}_1 = 1$ В и $\mathscr{E}_2 = 2$ В. Разность потенциалов $\varphi_A - \varphi_B = 3$ В. Найти напряжение на каждом конденсаторе.

12.218. В цепи (рис. 12.73) $\mathscr{E}_1 = 1$ В, $\mathscr{E}_2 = 2$ В, $C_1 = 10$ мкФ, $C_2 = 20$ мкФ. Найти заряд q_2 конденсатора C_2, зная, что заряд конденсатора C_1 — $q_1 = 10^{-5}$ Кл.

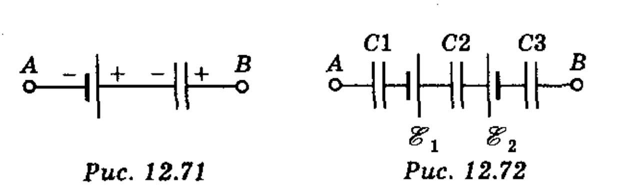


Рис. 12.71 Рис. 12.72

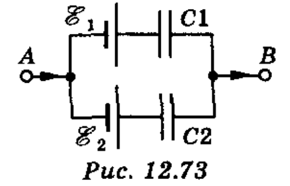


Рис. 12.73

Законы Кирхгофа

12.219. Определить разность потенциалов на конденсаторе в схеме (рис. 12.74), содержащей два одинаковых сопротивления R и два одинаковых источника $\mathcal{E}$. Внутренним сопротивлением источников тока пренебречь.

12.220. Два элемента с $\mathcal{E}_1 = 2$ В и $\mathcal{E}_2 = 1$ В соединены по схеме, показанной на рисунке 12.75. Сопротивление $R = 0,5$ Ом. Внутреннее сопротивление элементов одинаково $r_1 = r_2 = 1$ Ом. Определить силу тока, идущего через сопротивление R.

12.221. Найти силу тока на всех участках цепи (рис. 12.76), если $\mathcal{E}_1 = 2$ В, $\mathcal{E}_2 = 4$ В, $\mathcal{E}_3 = 6$ В, $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 6$ Ом, $R_3 = 8$ Ом, $r_1 = 0,5$ Ом, $r_2 = 1$ Ом, $r_3 = 1,5$ Ом.

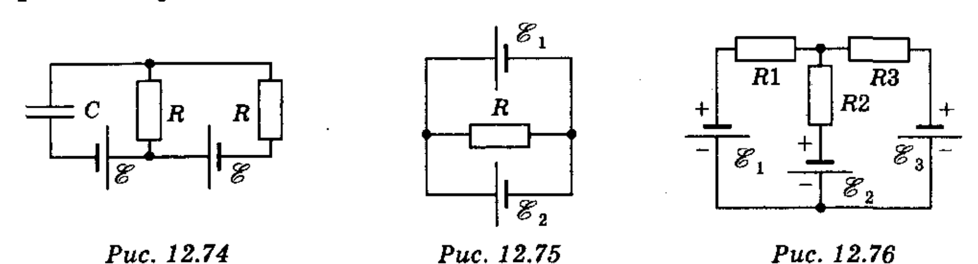


Рис. 12.74 Рис. 12.75 Рис. 12.76

12.222. В схеме, показанной на рисунке 12.77, найти силу тока через гальванометр, если $\mathcal{E}_1 = 1,5$ В, $R_1 = 3$ кОм; $\mathcal{E}_2 = 3$ В, $R_2 = 6$ кОм. Сопротивлением гальванометра пренебречь.

12.223. В цепи (рис. 12.78) $\mathcal{E}_1 = 65$ В, $\mathcal{E}_2 = 39$ В, $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 10$ Ом. Найти распределение токов в цепи. Внутреннее сопротивление источников тока не учитывать.

12.224. Какую силу тока покажет амперметр в схеме, изображенной на рисунке 12.79? Сопротивлением амперметра пренебречь.

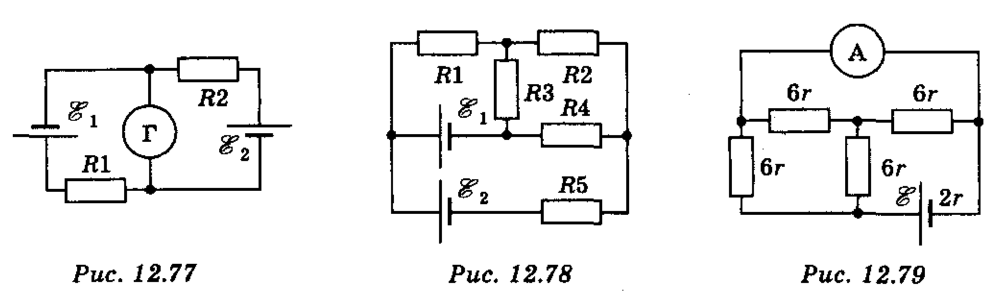


Рис. 12.77 Рис. 12.78 Рис. 12.79

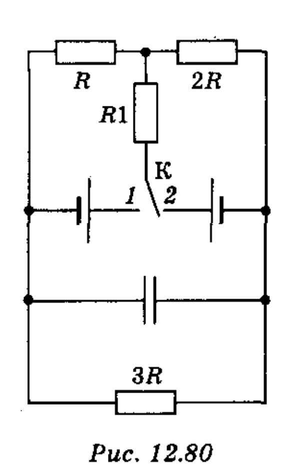


Рис. 12.80

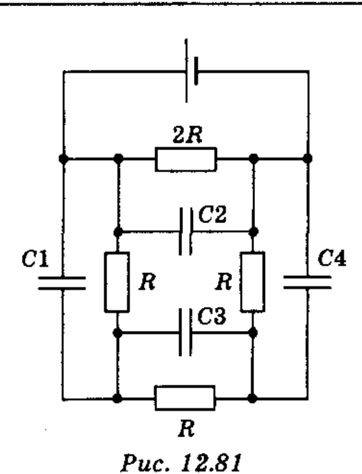


Рис. 12.81

12.225. При переключении ключа К из положения *1* в положение *2* (рис. 12.80) ток через сопротивление $R1$ не меняет своего направления, но увеличивается в $k = 5$ раз. Как при этом меняются заряды на обкладках конденсатора? Чему равно отношение этих зарядов?

12.226. В приведенной на рисунке 12.81 схеме все конденсаторы имеют одинаковые заряды на обкладках. Емкость $C_1 = 12$ мкФ. Чему равны емкости конденсаторов C_2, C_3, C_4?

12.227. Мост для измерения сопротивлений (рис. 12.82) сбалансирован так, что ток через гальванометр не идет. Сила тока в правой ветви $I = 0{,}2$ А. Найти напряжение U на зажимах источника тока. Сопротивления резисторов $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 4$ Ом, $R_3 = 1$ Ом.

12.228. В электрической схеме (рис. 12.83) заданы сопротивления R_2, R_3, R_4 и ЭДС $\mathscr{E}_1$ и $\mathscr{E}_2$. Найти сопротивление R_1 при условии, что ток в цепи гальванометра отсутствует.

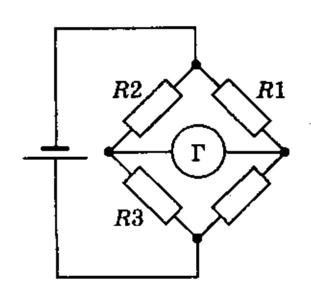



Рис. 12.82

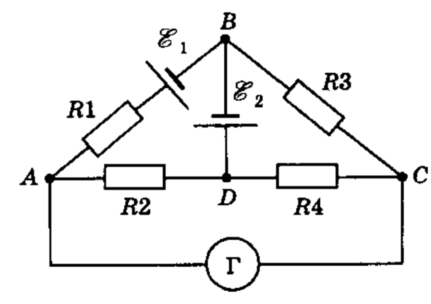


Рис. 12.83

Электрический ток в металлах

12.229. Сила тока в проводнике $I = 10$ А. Какова масса электронов, проходящих через поперечное сечение этого проводника за время $t = 1$ ч?

12.230. Оценить концентрацию свободных электронов меди, считая, что каждый атом меди теряет один электрон.

12.231. По проводнику, площадь поперечного сечения которого $S = 50$ мм^2, течет ток. Средняя скорость дрейфа электронов проводимости $v = 0{,}282$ мм/с, а их концентрация $n = 7{,}9 \cdot 10^{27}$ м$^{-3}$. Какова сила тока и плотность тока в проводнике?

12.232. Найти скорость упорядоченного движения электронов в проводнике площадью поперечного сечения $S = 5$ мм^2 при силе тока $I = 10$ А, если концентрация электронов проводимости $n = 5 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$.

12.233. В медном проводе площадью поперечного сечения $S = 25$ мм^2 сила тока $I = 50$ мА. Найти среднюю скорость упорядоченного движения электронов в проводнике, считая, что на каждый атом меди приходится один электрон проводимости.

12.234. Через два медных проводника, соединенных последовательно, проходит ток. Сравнить скорости упорядоченного движения электронов, если диаметр второго проводника в 2 раза меньше, чем первого.

12.235. Найти скорость упорядоченного движения электронов в стальном проводнике, концентрация электронов проводимости в котором $n = 10^{28}$ м$^{-3}$, при напряженности поля $E = 96$ мВ/м.

12.236. Какова напряженность электрического поля в алюминиевом проводнике сечением $S = 1{,}4$ мм^2 при силе тока $I = 1$ А?

12.237. Какую скорость направленного движения имеют свободные электроны внутри медного провода длиной $l = 1$ м, к концам которого приложено напряжение $U = 1$ В? Считать, что в проводнике на каждый атом приходится один свободный электрон.

12.238. В медном проводе сечением $S = 0{,}17$ мм^2 сила тока $I = 0{,}15$ А. Какая сила действует на отдельные свободные электроны со стороны электрического поля?

12.239. После замыкания цепи ток в электрической лампе изменялся так, как показано на рисунке 12.84. Объяснить причину такого изменения. Каково сопротивление нити электрической лампы в холодном и накаленном состоянии, если напряжение в сети постоянно и равно 220 В?

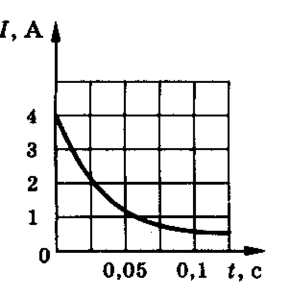


Рис. 12.84

12.240. Почему лампочка ярко вспыхивает, если включенный последовательно с ней проволочный резистор поместить в жидкий гелий?

12.241. Последовательно с аккумулятором соединили лампу и амперметр и замкнули эту цепь концами проводников, опущенных в водный раствор медного купороса. Изменится ли показание амперметра, если раствор подогреть?

12.242. Алюминиевая проволока при температуре $t_1 = 0$ °С имеет сопротивление $R = 4{,}25$ Ом. Каково будет сопротивление этой проволоки при температуре $t_2 = 200$ °С?

12.243. Сопротивление вольфрамовой нити электрической лампочки $R_1 = 60$ Ом, когда лампочка выключена. При полном накале сопротивление нити $R_2 = 636$ Ом. Оценить температуру нити при полном накале.

12.244. При какой температуре сопротивление серебряного проводника станет в 2 раза больше, чем при $t_0 = 0$ °С?

12.245. Требуется изготовить нагревательный прибор сопротивлением $R = 48$ Ом при температуре $t = 800$ °С. Какой длины проволоку нужно взять для этого, если диаметр проволоки $d = 0{,}50$ мм, температурный коэффициент сопротивления $\alpha = 0{,}00021$ К$^{-1}$, удельное сопротивление $\rho = 0{,}4$ мкОм · м?

12.246. Для определения температурного коэффициента сопротивление меди на катушку медной проволоки подают одно и то же напряжение. При погружении этой катушки в тающий лед сила тока $I_1 = 14$ А, а при опускании в кипяток сила тока $I_2 = 10$ мА. Найти по этим данным температурный коэффициент сопротивления меди.

12.247. Почему электрические лампы накаливания чаще всего перегорают в момент включения?

12.248. На сколько процентов изменится мощность, потребляемая обмоткой генератора из медной проволоки, при изменении температуры от $t_0 = 0$ °С до $t_2 = 30$ °С?

12.249. На баллоне электрической лампы написано: 220 В, 100 Вт. Для измерения сопротивления нити накала в холодном состоянии на лампу подали напряжение $U_1 = 2$ В, при этом сила тока была $I_1 = 54$ мА. Оценить температуру накала вольфрамовой нити лампы, работающей в номинальном режиме.

12.250. Найти удельное сопротивление стали при температуре $t = 50$ °С.

12.251. Нихромовая спираль нагревательного элемента должна иметь сопротивление $R = 30$ Ом при температуре накала $t = 900$ °С. Какой длины надо взять проволоку, чтобы сделать эту спираль, если площадь ее поперечного сечения $S = 2{,}96$ мм^2?

12.252. Разность потенциалов на концах проволоки длиной $l = 5$ м равна $U = 4{,}2$ В. Определить плотность тока в проволоке j при температуре $t = 120$ °С, если при температуре $t = 0$ °С ее удельное сопротивление $\rho = 2 \cdot 10^{-7}$ Ом · м, а температурный коэффициент сопротивления $\alpha = 6 \cdot 10^{-3}$ К$^{-1}$.

12.253. При температуре $t = 0$ °С один проводник имеет сопротивление в n раз больше другого. Температурные коэффициенты сопротивления α_1 и α_2 соответственно. Оценить температурные коэффициенты сопротивления этой системы проводников, если: а) они соединены последовательно; б) они соединены параллельно.

12.254. Угольный стержень соединен последовательно со стальным такой же толщины. При каком соотношении их длин сопротивление данной комбинации не зависит от температуры?

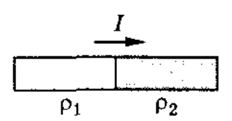


Рис. 12.85

12.255. По двум проводникам одинакового сечения S (рис. 12.85) проходит ток. Удельное сопротивление первого проводника ρ_1, второго — ρ_2 ($\rho_2 > \rho_1$). Оценить знак и модуль заряда, возникающего на поверхности контакта проводников, а также поверхностную плотность данного заряда, если сила тока равна I.

Электролиз. Законы Фарадея

12.256. Вследствие короткого замыкания загорелись провода. Почему их нельзя гасить водой или огнетушителем до того, пока загоревшийся участок не будет отключен от сети?

12.257. Почему при включении электролитического конденсатора необходимо строго соблюдать полярность?

12.258. Для чего на электрифицированных железных дорогах положительный полюс источника напряжения соединяют с воздушным проводом, а отрицательный — с рельсами?

12.259. До каких пор может продолжаться электролиз раствора медного купороса, если в ванне электроды медные? угольные?

12.260. Какова скорость движения ионов в электролите, если концентрация их в растворе $n = 10^{24}$ см$^{-3}$, площадь каждого электрода $S = 50$ см^2 и сила тока $I = 1{,}0$ А?

12.261. Пользуясь первым законом Фарадея, определить массу иона водорода.

12.262. За время $t = 10$ мин в гальванической ванне выделилось серебро массой $m = 0{,}67$ г. Амперметр, включенный последовательно с ванной, показал $I = 0{,}90$ А. Верно ли показание амперметра?

12.263. Электрическую лампу включили в цепь последовательно с электролитической ванной, наполненной слабым раствором поваренной соли. Изменится ли накал лампы, если добавить в раствор еще некоторое количество соли?

12.264. Сколько выделится алюминия при электролизе за $t = 30$ мин, если сила тока $I = 2$ А?

12.265. При проведении опыта по определению электрохимического эквивалента меди были получены следующие данные: время прохождения тока $t = 20$ мин, сила тока $I = 0{,}5$ А, масса катода до опыта $m_1 = 70{,}4$ г, масса катода после опыта $m_2 = 70{,}52$ г. Какое значение электрохимического эквивалента меди было получено по этим данным?

12.266. Последовательно с электролитической ванной, заполненной солью никеля, включена ванна, в которой находится соль хрома. После размыкания цепи оказалось, что в первой ванне выделилось $m_1 = 10$ г никеля. Сколько хрома выделилось во второй ванне?

12.267. Найти электрохимический эквивалент натрия. Молярная масса натрия $M = 0{,}023$ кг/моль, его валентность $n = 1$.

12.268. Зная электрохимический эквивалент серебра, вычислить электрохимический эквивалент золота.

12.269. Вычислить число Фарадея и заряд электрона, если известно, что при прохождении через электролит тока в течение $t = 20$ мин на катоде выделилось $m = 1188$ мг меди. Сила тока $I = 3$ А. Валентность меди $n = 2$.

12.270. Сравнить массы трехвалентного железа и двухвалентного магния, выделевшиеся на катодах при последовательном соединении электролитических ванн.

12.271. Какое количество вещества ν осядет на катоде из соли любого двухвалентного металла за время $t = 40$ мин при силе тока $I = 4$ А?

12.272. В одну из двух электролитических ванн, соединенных последовательно, наливают раствор медного купороса, в другую — раствор хлорного золота. За время работы на катоде первой ванны выделилась

медь массой $m_1 = 2$ г. Определить массу золота, выделившегося на катоде второй ванны. Сколько атомов золота и меди выделилось на катодах? Валентность меди $n_1 = 2$, золота $n_2 = 3$.

12.273. Медь выделяется из раствора $CuSO_4$ при напряжении $U = 10$ В. Найти энергию, необходимую для получения меди массой $m = 1$ кг (без учета потерь).

12.274. Сколько электроэнергии нужно затратить для получения из воды водорода объемом $V = 2{,}5$ л при температуре $t = 25$ °С и давлении $p = 10^5$ Па, если электролиз ведется при напряжении $U = 5$ В, а КПД установки равен $\eta = 75\%$?

12.275. Электролиз раствора сернокислого никеля ($NiSO_4$) протекает при плотности тока $j = 0{,}15$ А/дм^2. Сколько атомов никеля выделится за время $t = 2$ мин на катоде площадью $S = 1$ см^2?

12.276. Электролиз раствора медного купороса проходит в течение $t = 1$ ч. При этом плотность тока изменяется по закону, представленному на графике (рис. 12.86). Площадь каждого электрода $S = 75$ см^2. Сколько меди выделится на электроде?

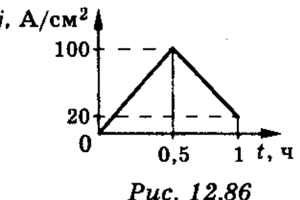


Рис. 12.86

12.277. Сколько меди выделится в течение $t = 10$ с на катоде при электролизе раствора медного купороса, если в течение первых $t_1 = 5$ с сила тока равномерно возрастает от $I_0 = 0$ до $I_1 = 3$ А, а в течение последующих $t_2 = 5$ с равномерно уменьшается до $I_2 = 1$ А?

12.278. Какая мощность расходуется на нагревание раствора азотнокислого серебра, если за время $t = 6$ ч из него выделяется в процессе электролиза серебро массой $m = 120$ г? Сопротивление раствора $R = 1{,}2$ Ом.

12.279*. Электролитическая ванна с раствором медного купороса присоединена к батарее аккумуляторов. ЭДС батареи $\mathcal{E} = 4$ В, внутреннее сопротивление $r = 0{,}1$ Ом. При протекании тока в ванне на ее электродах скапливаются заряды, и возникает ЭДС поляризации $\mathcal{E}_1 = 1{,}6$ В. Определить напряжение на зажимах ванны и массу меди, выделившейся при электролизе за время $t = 10$ мин, если сопротивление раствора $R = 0{,}5$ Ом.

12.280. При никелировании пластины ее поверхность покрывается слоем никеля толщиной $h = 0{,}05$ мм. Определить среднюю плотность тока, если время никелирования $t = 2{,}5$ ч.

12.281. Слой меди какой толщины выделится на одном из электродов, опущенных в водный раствор хлорной меди $CuCl_2$, за время t = 1 ч, если мощность электролитической установки P = 20 кВт, подводимое напряжение U = 500 В? Площадь электродов S = 0,5 м^2.

12.282. Шарик радиусом R = 3 см покрывается никелем в течение t = 5 ч при силе тока I = 0,3 А. Определить толщину слоя никеля.

12.283. При какой плотности тока в растворе азотнокислого серебра толщина отложившегося слоя серебра растет со скоростью v = 1 мм/ч?

12.284. Ток какой силы I должен проходить через раствор электролита, чтобы за t = 1 мин разлагался 1 г воды? Каков объем V выделившегося при этом гремучего газа (при нормальных условиях)?

12.285. При электролизе воды через ванну прошел заряд q = 1000 Кл. Какова температура выделившегося кислорода, если он находился в объеме V = 0,25 л под давлением p = 129 кПа?

Электрический ток в газах, вакууме и полупроводниках

12.286. Почему опасно касаться оголенных электрических проводов руками, особенно мокрыми?

12.287. Какой из атомов лития, гелия, цезия легче ионизируется и почему?

12.288. Как при помощи неоновой лампы определить знаки полюсов источника ЭДС?

12.289. а) Почему для уменьшения потерь электроэнергии на коронный разряд в линиях электропередачи высокого напряжения применяют провода возможно большего диаметра? б) Почему потери электрической энергии на коронный разряд резко возрастают при плохой погоде — сильных туманах, дождях и снегопадах?

12.290. К массивной металлической детали нужно приварить тонкостенную деталь. Какую из деталей следует соединить с плюсом, а какую с минусом дугового электросварочного генератора?

12.291. Напряжение 40—50 В поддерживает дуговой разряд в газовом промежутке. Искровой разряд в том же промежутке требует напряжения в несколько тысяч вольт. Объяснить почему.

12.292. Почему П. Н. Яблочков для питания изобретенных им электрических свечей предпочел переменный ток постоянному?

12.293. Разным участкам вольт-амперной характеристики газа (рис. 12.87) соответствуют различные значения сопротивления. Почему сопротивление газа изменяется?

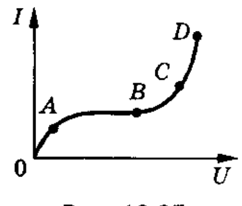


Рис. 12.87

12.294. От чего зависит ток насыщения в газе на участке AB (рис. 12.87): от приложенного напряжения или от действия ионизатора?

12.295. Сколько пар ионов возникает под действием ионизатора ежесекундно в объеме $V = 1{,}0$ см^3 разрядной трубки, в которой сила тока насыщения $I = 2{,}0 \cdot 10^{-7}$ мА? Площадь каждого плоского электрода $S = 1{,}0$ дм^2 и расстояние между ними $d = 5{,}0$ мм.

12.296. При каком расстоянии между пластинами, площадью $S = 100$ см^2 каждая, установится сила тока насыщения $I = 1 \cdot 10^{-10}$ А, если ионизатор образует в объеме $V = 1$ см^3 газа $N = 12{,}5 \cdot 10^6$ пар ионов за время $t = 1$ с?

12.297. Какой должна быть напряженность электрического поля, чтобы при длине свободного пробега $l = 0{,}5$ мкм электрон смог ионизировать атом газа с энергией ионизации $W = 2{,}4 \cdot 10^{-18}$ Дж?

12.298. Электрон со скоростью $v = 1{,}83 \cdot 10^6$ м/с влетел в однородное электрическое поле в направлении, противоположном направлению напряженности поля. Какую разность потенциалов должен пройти электрон, чтобы ионизировать атом водорода, если энергия ионизации $W = 2{,}18 \cdot 10^{-18}$ Дж?

12.299. Какова сила тока насыщения при несамостоятельном газовом разряде, если ионизатор ежесекундно образует $N = 10^9$ пар ионов в одном кубическом сантиметре, площадь каждого из двух плоских параллельных электродов $S = 100$ см^2 и расстояние между ними $d = 5$ см?

12.300. При какой напряженности электрического поля начнется самостоятельный разряд в водороде, если энергия ионизации молекул $W = 2{,}5 \cdot 10^{-18}$ Дж, а средняя длина свободного пробега $l = 5$ мкм? Какую скорость имеют электроны при ударе о молекулу?

12.301. Плоский конденсатор подключен к источнику напряжения $U = 6$ кВ. При каком расстоянии между пластинами произойдет пробой, если ударная ионизация воздуха начинается при напряженности поля $E = 3$ МВ/м?

12.302. Почему в дымоходе раскаленные частички угля несут на себе электрический заряд? Каков знак заряда?

12.303. Как будет изменяться напряжение пробоя при уменьшении давления газа?

12.304. Максимальный анодный ток в ламповом диоде I = 50 мА. Сколько электронов вылетает из катода каждую секунду?

12.305. В диоде электроны ускоряются до энергии W = 100 эВ. Какова их скорость у анода лампы?

12.306. В телевизионном кинескопе ускоряющее анодное напряжение U = 16 кВ, а расстояние от анода до экрана l = 30 см. За какое время электроны проходят это расстояние?

12.307. Расстояние между катодом и анодом вакуумного диода l = 1 см. Сколько времени движется электрон от катода к аноду при анодном напряжении U = 440 В? Движение электрона считать равноускоренным. Начальная скорость электрона равна нулю.

12.308. В электронно-лучевой трубке поток электронов, с кинетической энергией W = 8 кэВ каждый, движется между отклоняющими пластинами плоского конденсатора длиной x = 4 см. Расстояние между пластинами d = 2 см. Какое напряжение надо подать на пластины конденсатора, чтобы смещение электронного пучка на выходе из конденсатора было y = 0,8 см?

12.309. К горизонтально отклоняющим пластинам электронно-лучевой трубки приложено напряжение $u_1 = U\sin\omega t$, а к вертикально отклоняющим — $u_2 = U\cos\omega t$. Какая картинка получится на экране?

12.310. Почему с повышением температуры электролитов и полупроводников их сопротивление уменьшается?

12.311. Получится ли сверхпроводящий кремний, если его охладить до температуры, близкой к абсолютному нулю?

12.312. В четырехвалентный германий вводится примесь: а) пятивалентный мышьяк; б) трехвалентный индий. Каким будет основной ток в германии в каждом случае: электронным или дырочным?

12.313. Какого типа будет проводимость германия, если к нему добавить в качестве примеси фосфор? цинк? калий?

12.314. Получится ли p—n-переход, если вплавить олово в германий или кремний?

12.315. Почему, несмотря на равенство концентраций электронов и дырок в полупроводнике с собственной проводимостью, электронный ток все же больше дырочного?

12--1695

12.316. Почему сопротивление металлов при освещении практически не меняется?

12.317. Концентрация электронов проводимости в германии при комнатной температуре $n = 3 \cdot 10^{19}$ м$^{-3}$. Какую часть составляет число электронов проводимости от общего числа атомов?

12.318. К концам цепи, состоящей из последовательно включенных термистора и резистора сопротивлением $R = 1$ кОм, подано напряжение $U = 20$ В. При комнатной температуре сила тока в цепи $I_1 = 5$ мА. Когда термистор опустили в горячую воду, сила тока в цепи стала $I_2 = 10$ мА. Во сколько раз изменилось сопротивление термистора в результате нагрева?

12.319. Фоторезистор, который в темноте имеет сопротивление $R_1 = 25$ кОм, включили последовательно с резистором с сопротивлением $R_2 = 5$ кОм. Когда фоторезистор осветили, сила тока в цепи (при том же напряжении) увеличилась в $n = 4$ раза. Каким стало сопротивление фоторезистора?

12.320. Найти сопротивление полупроводникового диода в прямом и обратном направлениях тока, если при напряжении на диоде $U_1 = 0{,}5$ В сила тока $I_1 = 5$ мА, а при напряжении $U_2 = -10$ В сила тока $I_2 = 0{,}1$ мА соответственно.

12.321. Количество энергии, достигающей поверхности Земли от Солнца, характеризуется величиной плотности потока $\Phi = 8{,}34$ Дж/(см$^2 \cdot$ мин). Какую площадь должна иметь солнечная полупроводниковая электрическая батарея мощностью $P = 100$ Вт? КПД батареи $\eta = 20\%$.

12.322. Определить сопротивление цепи (рис. 12.88) для двух направлений тока: от A к B и от B к A. Сопротивления резисторов $R_1 = 30$ Ом, $R_2 = 60$ Ом. В цепь включен идеальный диод, т. е. диод, для которого в прямом направлении сопротивление можно считать равным нулю, а в обратном — бесконечно большим.

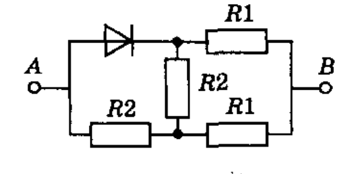


Рис. 12.88

12.323. Скорость электрона при выходе с поверхности катода, покрытого оксидом бария, уменьшилась в 2 раза. Найти скорость электрона до и после выхода.

12. Постоянный ток

Таблица 12

Формулы	Обозначения		Единицы измерения
Сила тока $<I> = \frac{\Delta q}{\Delta t}$; $I = q'$		I — сила тока q — заряд Δt — время	1 А 1 Кл 1 с
Плотность тока $<j> = \frac{I}{S}$		j — плотность тока S — сечение проводника	1 А/м^2 1 м^2
Сопротивление однородного проводника $R = \rho\frac{l}{S}$; $\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$		R — электрическое сопротивление ρ — удельное сопротивление вещества проводника l — длина проводника α — температурный коэффициент сопротивления t — температура	1 Ом 1 Ом · м 1 м К$^{-1}$ 1 °С
Сопротивление соединения проводников: а) последовательно $R = \sum_{i=1}^{N} R_i$; б) параллельно $\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^{N}\frac{1}{R_i}$	R1 R2 ⇒ R R1 R2 ⇒ R	N — число проводников	

Окончание таблицы 12

Формулы	Обозначения		Единицы измерения
Закон Ома для: а) однородного участка цепи $I = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{R} = \frac{U}{R}$;		φ — потенциал U — напряжение $\mathscr{E}$ — электродвижущая сила тока (ЭДС)	1 В 1 В 1 В
б) неоднородного участка цепи $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \mathscr{E}}{R + r}$;		r — внутреннее сопротивление источника тока	1 Ом
в) замкнутой цепи $I = \frac{\mathscr{E}}{R + r}$			
ЭДС $\mathscr{E} = \frac{A_{ст}}{q}$		$A_{ст}$ — работа сторонних сил	1 Дж
Правила Кирхгофа а) $\sum_{i=1}^{N} I_i = 0$; б) $\sum_{i=1}^{k} \mathscr{E}_i = \sum_{i=1}^{N} I_i R_i$			

12. Постоянный ток

Работа тока на участке цепи $A = UIt$			
Мощность тока $P = IU$		P — мощность тока	1 Вт
Закон Джоуля—Ленца $Q = I^2Rt$		Q — количество теплоты	1 Дж
Ток в металле $j = ne\langle v\rangle$; $j = \dfrac{E}{\rho}$		n — концентрация электронов e — заряд электрона $\langle v\rangle$ — средняя скорость E — напряженность электрического поля	1 $м^{-3}$ $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл 1 м/с 1 В/м
Законы электролиза: а) $m = k\Delta q = k\langle I\rangle\Delta t$; б) $k = \dfrac{M}{Fn}$; $F = eN_A$		m — масса k — электрохимический эквивалент вещества M — молярная масса вещества F — постоянная Фарадея n — валентность ионов N_A — постоянная Авогадро	1 кг 1 кг/Кл 1 кг/моль 96 500 Кл/моль $6{,}022 \cdot 10^{23}$ $моль^{-1}$

13. Магнетизм

Магнитные явления

13.1. Можно ли намагнитить кольцо, сделанное из стальной проволоки?

13.2. Какой полюс появится у конца иголки, если к ее ушку приблизить южный полюс магнита?

13.3. Если магнит дугообразный, то железный гвоздь одним концом притягивается к одному полюсу, а другим — к другому. Почему?

13.4. К одному из полюсов магнитной стрелки поднесли иголку. Одним из полюсов стрелка притянулась к иголке. Может ли это служить доказательством того, что игла была намагничена?

13.5. Почему корпус компаса делают из меди, алюминия, пластмассы и других материалов, но не из железа?

13.6. На тонкой шелковой нити подвешен легкий шарик. Шарик заряжен отрицательно. К нему подносят полосовой магнит северным полюсом. Будет ли шарик взаимодействовать с магнитом?

13.7. Что произойдет с листочками электроскопа, заряженного отрицательно, если к шару электроскопа подносить (не касаясь его) северный полюс полосового магнита?

13.8. Не пользуясь никакими другими предметами, определить, намагничена ли сломанная пилочка от лобзика.

13.9. К одной из точек на внешней стороне кольца из стальной проволоки был приставлен на некоторое время северным полюсом сильный электромагнит. Намагнитилось ли кольцо?

13.10. Тонкая стальная полоса хорошо намагничена, и только к ее середине железные опилки не притягиваются. Полосу сгибают и концы ее спаивают, получая обруч. Останется ли магнитом полоса, полученная из обруча, если теперь его разрезать в том месте, где опилки не притягивались?

13.11. Можно ли намагнитить стальной отполированный шар, имеющий идеальную сферическую форму?

13.12. Имеются две одинаковые стальные спицы, из которых одна намагничена. Как узнать, какая из спиц намагничена, не пользуясь ничем, кроме самих спиц?

13.13. Имеются два одинаковых стальных стержня, один из которых намагничен сильнее другого. Как определить этот стержень?

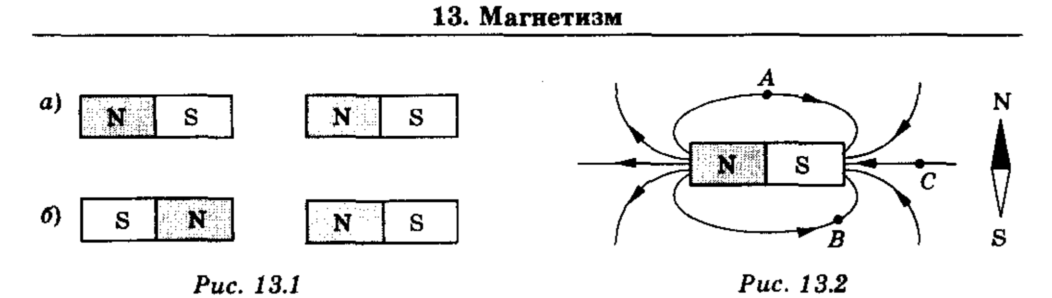


Рис. 13.1 Рис. 13.2

13.14. Полосовой магнит разделили на две равные части и получили два магнита. Будут ли эти магниты оказывать такое же действие, как и целый магнит, из которого они получены?

13.15. Начертить картину силовых линий для пары магнитов, расположенных так, как показано на рисунке 13.1.

13.16. *Показать, как расположится магнитная стрелка, если ее поместить в точках* A, B, C поля магнита (рис. 13.2).

Магнитное поле проводника с током

13.17. Останется ли в покое магнитная стрелка, если к ней приблизить проводник с током (рис. 13.3)? Ответ обосновать.

13.18. Можно ли, используя компас, определить, есть ли в проводнике ток? Ответ объяснить.

13.19. Магнитная стрелка, расположенная под медным проводником, при пропускании тока по нему отклоняется от своего первоначального положения. Будет ли отклоняться стрелка, если медный проводник *заменить водным раствором щелочи,* помещенным в тонкую стеклянную трубку?

13.20. Каково направление магнитного поля тока в проводнике (рис. 13.4, *а*)? В каком направлении течет ток в проводнике (рис. 13.4, *б*)? Показать направление магнитного поля рамки с током (рис. 13.4, *в*).

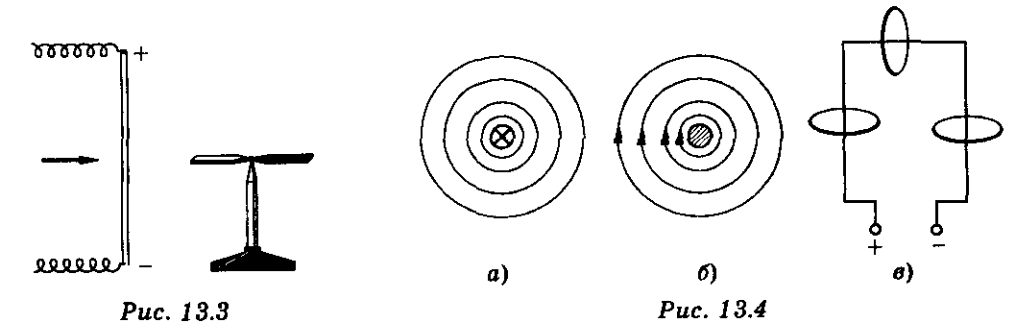


Рис. 13.3 Рис. 13.4

Рис. 13.5 Рис. 13.6 Рис. 13.7

13.21. Будет ли отклоняться магнитная стрелка, если провод, по которому течет ток, согнуть пополам (рис. 13.5)?

13.22. Как взаимодействуют два провода троллейбусной линии: притягиваются или отталкиваются?

13.23. Как взаимодействуют параллельные токи, направленные так, как указано на рисунке 13.6?

13.24. Каковы направления тока в проводах, если силы взаимодействия направлены так, как показано на рисунках 13.7, *а*, *б*?

13.25. Почему струя расплавленного металла при пропускании по ней тока сужается? Какое применение может иметь это явление в металлургии?

13.26. Описать процессы, происходящие с пружиной в электрической цепи (рис. 13.8) после замыкания ключа. Нижний конец пружины лишь на незначительную глубину погружен в ртуть. Как при этом изменяется сила тока в цепи?

13.27. На тонких проводах подвешена катушка (рис. 13.9). Если по катушке пропустить ток, она притягивается к магниту. В чем причина этого явления?

13.28. На тонких проводах подвешены две катушки (рис. 13.10). Почему они притягиваются (или отталкиваются), если по ним пропускать электрический ток?

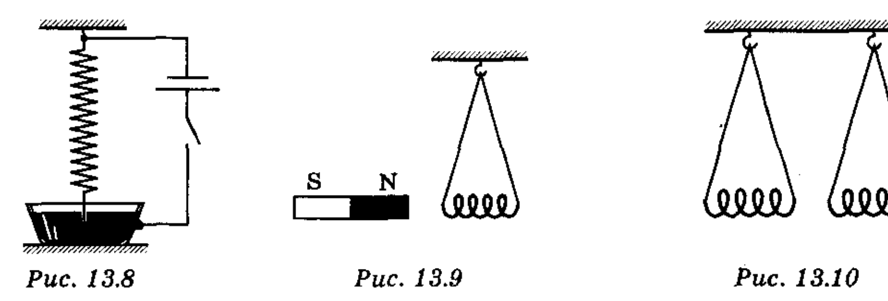


Рис. 13.8 Рис. 13.9 Рис. 13.10

13.29. Можно ли, изготавливая самодельный электромагнит, неизолированный провод наматывать на железный сердечник?

13.30. Почему магнитное действие катушки с током усиливается, когда в нее вводят железный сердечник?

13.31. При работе электромагнитного подъемного крана часть груза не оторвалась от полюсов электромагнита при отключении тока. Через обмотку пропустили слабый ток обратного направления, и груз упал. Объяснить почему.

13.32. Медную трубу согнули в кольцо и, обмотав плотно прилегающими друг к другу витками изолированной проволоки, получили замкнутую кольцевую катушку. Пренебрегая толщиной изоляционного слоя проволоки, определить, как должны быть расположены силовые линии магнитного поля этой катушки.

13.33*. В прямом, бесконечно длинном проводнике сила тока $I = 50$ А. Определить магнитную индукцию в точке, удаленной на расстояние $r = 5$ см от проводника.

13.34*. По двум длинным параллельным проводникам, находящимся на расстоянии $l = 5$ см друг от друга, протекают токи в одном направлении. Сила тока $I_1 = I_2 = 10$ А. Определить индукцию магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии $r = 3$ см от каждого проводника.

13.35*. В прямом проводе длиной $l = 0{,}1$ м сила тока $I = 6$ А. Определить напряженность магнитного поля в точке, лежащей на расстоянии $r = 0{,}5$ м от середины провода.

13.36*. Сила тока в проводниках, расположенных параллельно на расстоянии $r = 3$ см друг от друга (рис. 13.11), равна соответственно $I_1 = I_2$ и $I_3 = I_1 + I_2$. Определить положение прямой, в каждой точке которой индукция магнитного поля $\vec{B}$, создаваемая токами, равна нулю.

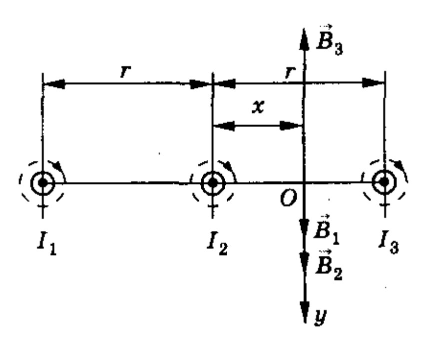


Рис. 13.11

13.37*. Сила тока в проводнике, согнутом под прямым углом, $I = 15$ А. Какой будет напряженность магнитного поля в точке, лежащей на биссектрисе этого угла и отстоящей от вершины на расстоянии $r = 0{,}05$ м?

13.38*. Чему равна напряженность магнитного поля в центре равностороннего треугольника при прохождении по нему тока? Сторона треугольника a, сила тока I.

13.39*. Найти индукцию магнитного поля в центре кругового проволочного витка с током радиусом $R = 1$ см. Сила тока в витке $I = 1$ А.

13.40*. Считая, что электрон в атоме водорода движется по круговой орбите радиусом $R = 0{,}53 \cdot 10^{-8}$ см, определить индукцию магнитного поля в центре орбиты. Силу кругового тока, эквивалентного движущемуся электрону, принять $I = 1$ мА.

13.41*. Считая, что атом водорода состоит из протона и электрона, движущегося по окружности радиусом $R = 0{,}53 \cdot 10^{-10}$ м со скоростью $v = 2 \cdot 10^6$ м/с, найти индукцию магнитного поля, создаваемого электроном вблизи протона (в центре атома водорода).

13.42*. К кольцу из медной проволоки, площадь сечения которого $S = 1$ мм^2, приложено напряжение $U = 0{,}15$ В. При этом сила тока в кольце $I = 10$ А. Найти индукцию магнитного поля в его центре.

13.43*. Два круговых витка расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях так, что их центры совпадают. Найти индукцию в центре витков, если радиусы витков одинаковы, $R = 5$ см и сила тока в каждом витке $I = 2$ А.

13.44*. По бесконечной прямолинейной тонкостенной трубе течет ток. Определить индукцию магнитного поля в произвольной точке внутри трубы, если сила тока равна I.

13.45*. По проводнику, расположенному в одной плоскости, как изображено на рисунке 13.12, течет ток. Найти индукцию поля в произвольной точке линии AB, являющейся осью симметрии проводника.

13.46*. Определить индукцию магнитного поля в точке O, если проводник с током имеет вид, показанный на рисунке 13.13 ($\mu = 1$). Сила тока I в проводнике и радиус R известны.

13.47*. Вычислить магнитную индукцию внутри длинного соленоида с железным сердечником ($\mu = 183$), если на $l = 40$ см его длины намотано $N = 400$ витков проволоки. Сила тока в соленоиде $I = 8$ А.

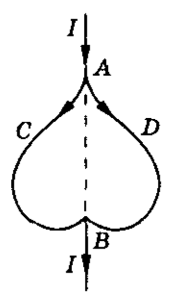


Рис. 13.12

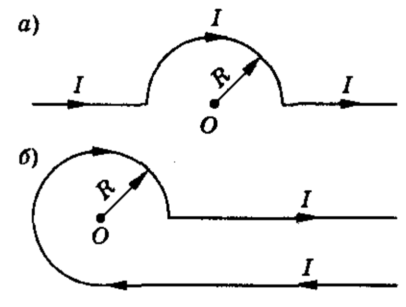


Рис. 13.13

13.48*. Длинный соленоид, по которому течет ток, содержит $N =$ $= 500$ витков. Определить длину соленоида, если напряженность магнитного поля на его оси $H = 1000$ А/м, а сила тока в нем $I = 0{,}4$ А.

13.49*. Обмотка длинного соленоида сделана из провода диаметром $d = 2 \cdot 10^{-3}$ м. Витки плотно прилегают друг к другу. При какой силе тока напряженность магнитного поля в соленоиде $H = 8000$ А/м?

13.50*. Из какого материала изготовлена обмотка соленоида длиной $l = 0{,}3$ м, если диаметр соленоида $D = 0{,}05$ м, напряженность магнитного поля на его оси $H = 15$ А/м, напряжение на концах обмотки $U = 0{,}9$ В? Диаметр провода $d = 10^{-3}$ м.

Сила Лоренца

13.51. Что произойдет, если к экрану работающего телевизора поднести магнит?

13.52. Действует ли сила Лоренца: а) на незаряженную частицу в магнитном поле; б) на заряженную частицу, покоящуюся в магнитном поле; в) на заряженную частицу, движущуюся вдоль линии магнитной индукции поля?

13.53. В какую сторону отклонится горизонтальный пучок положительных ионов, если к нему сверху поднести магнит (рис. 13.14)?

13.54. Скорость электрона направлена так, как показано на рисунке 13.15. В каком направлении отклонится электрон под действием магнитного поля? Ответить на вопрос, если: а) скорость электрона направлена в противоположную сторону; б) линии магнитной индукции направлены в противоположную сторону.

13.55. На рисунке 13.16 показаны траектории движения одинаково заряженных частиц *1*, *2*, *3* в однородном магнитном поле. Как направлена скорость каждой частицы по отношению к линиям индукции магнитного поля?

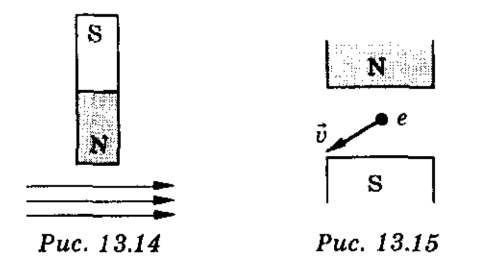


Рис. 13.14 *Рис. 13.15*

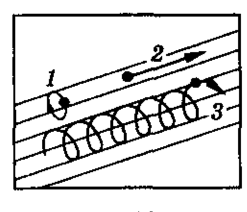


Рис. 13.16

13.56. Точечный заряд $q = 10^{-5}$ Кл влетает со скоростью $v_0 = 5$ м/с в однородное магнитное поле (рис. 13.17). Вектор скорости заряда и вектор индукции магнитного поля взаимно перпендикулярны. Найти величину и направление силы, действующей на заряд. Индукция магнитного поля $B = 2$ Тл.

13.57. Точечный заряд $q = -10^{-6}$ Кл влетает со скоростью $v_0 = 8$ м/с в однородное магнитное поле. На заряд действует сила $F = 10^{-5}$ Н, направленная вертикально вверх (рис. 13.18). Определить модуль и направление индукции магнитного поля.

13.58. Точечный заряд $q = 2 \cdot 10^{-5}$ Кл влетает со скоростью $v_0 = 5$ м/с в однородное магнитное поле с индукцией $B = 2$ Тл. Векторы скорости и магнитной индукции составляют угол $\alpha = 45°$ (рис. 13.19). Определить модуль и направление силы, действующей на заряд.

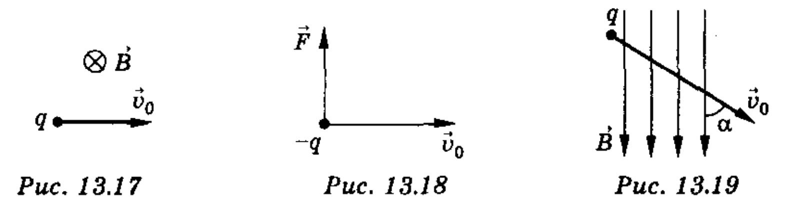


Рис. 13.17 *Рис. 13.18* *Рис. 13.19*

13.59. Протон движется со скоростью $v = 10^6$ м/с перпендикулярно однородному магнитному полю с индукцией $B = 1$ Тл. Найти силу, действующую на протон, и радиус окружности, по которой он движется.

13.60. Электрон описывает в магнитном поле окружность радиусом $R = 4$ мм. Скорость электрона $v = 3{,}6 \cdot 10^6$ м/с. Найти индукцию магнитного поля.

13.61. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл перпендикулярно линиям поля. Определить силу, действующую на электрон со стороны поля, если радиус кривизны траектории $R = 0{,}5$ см.

13.62. Определить частоту обращения электрона по круговой орбите в магнитном поле, индукция которого $B = 0{,}2$ Тл.

13.63. Электрон влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно силовым линиям. Скорость электрона $v = 4 \cdot 10^7$ м/с, индукция магнитного поля $B = 1$ мТл. Определить нормальное, тангенциальное ускорение электрона и радиус кривизны его траектории.

13.64. Электрон в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл движется по окружности. Найти силу кругового тока I, создаваемого движущимся электроном.

13.65. Частица массой m влетает перпендикулярно силовым линиям в однородное магнитное поле с индукцией B. Заряд частицы q. Доказать, что период обращения частицы не зависит от ее скорости.

13.66. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,015$ Тл по окружности радиусом $R = 10$ см. Определить импульс электрона.

13.67. Электрон движется в магнитном поле с индукцией $B = 0,02$ Тл по окружности радиусом $R = 1$ см. Определить кинетическую энергию $E_к$ электрона (в джоулях и электрон-вольтах).

13.68. Заряженная частица с кинетической энергией $E_к = 1$ кэВ движется в однородном магнитном поле по окружности радиусом $R = 1$ мм. Найти силу, действующую на частицу со стороны поля.

13.69. Циклотрон предназначен для ускорения протонов до энергии $E_к = 5$ МэВ. Определить наибольший радиус орбиты, по которой движется протон, если индукция магнитного поля $B = 1$ Тл.

13.70. Определить радиус кривизны траектории электрона в камере Вильсона, помещенной в магнитное поле с индукцией $B = 0,007$ Тл, если энергия электрона $E_к = 3,9 \cdot 10^3$ эВ.

13.71. Протон с кинетической энергией $E_к = 1$ МэВ влетел в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции ($B = 1$ Тл). Какова должна быть минимальная протяженность поля, чтобы оно изменило направление движения протона на противоположное?

13.72. Однородное магнитное поле с индукцией B локализовано между двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми l (рис. 13.20). Какую скорость должен иметь электрон, чтобы он мог пройти данную область поля?

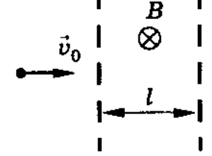


Рис. 13.20

13.73. Частица массой $m = 6 \cdot 10^{-12}$ кг и зарядом $q = 3 \cdot 10^{-10}$ Кл движется в однородном магнитном поле с индукцией $B = 10$ Тл. Кинетическая энергия частицы $E_к = 10^{-6}$ Дж. Какой путь пройдет частица за время, в течение которого ее скорость изменит направление на угол $\alpha = 180°$? Магнитное поле перпендикулярно скорости частицы.

13.74. Электрон влетает перпендикулярно направлению магнитного поля с индукцией $B = 2,85 \cdot 10^{-2}$ Тл со скоростью $v = 10^6$ м/с. Определить изменение скорости электрона за промежуток времени $\Delta t = 2,1 \cdot 10^{-10}$ с.

13.75. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией B. В начальный момент времени электрон находился в точке A и его скорость $\vec{v}$ была перпендикулярна вектору $\vec{B}$ (рис. 13.21). Найти перемещение электрона за время t. Массу электрона и его заряд считать известными.

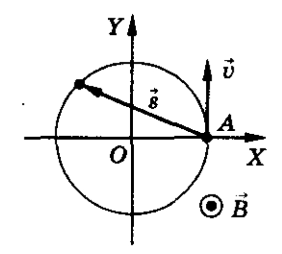


Рис. 13.21

13.76°. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией $B = 9$ мТл по винтовой линии радиусом $R = 1$ см с шагом $h = 7{,}8$ см. Определить период обращения электрона. Под каким углом к линиям магнитной индукции движется электрон?

13.77*. Электрон влетает в однородное магнитное поле с напряженностью $H = 16$ кА/м со скоростью $v = 8 \cdot 10^6$ м/с под углом $\alpha = 60°$ к направлению линий индукции. Определить радиус и шаг винтовой линии, по которой будет двигаться электрон.

13.78°. В магнитном поле, индукция которого $B = 2$ мТл, по винтовой линии радиусом $R = 2$ см и шагом $h = 5$ см движется электрон. Определить его скорость.

13.79°. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 2$ Тл движется протон. Траектория его движения представляет винтовую линию радиусом $R = 10$ см. Кинетическая энергия протона $E_к = 3{,}6$ МэВ. Определить шаг винтовой линии.

13.80°. Какова кинетическая энергия протона, если его траектория в магнитном поле с индукцией $B = 2$ Тл представляет собой винтовую линию радиусом $R = 10$ см с шагом $h = 60$ см?

13.81°. Заряженная частица влетает со скоростью $v = 10^6$ м/с перпендикулярно границе OX двух однородных магнитных полей (рис. 13.22). Векторы магнитной индукции полей параллельны друг другу и перпендикулярны скорости частицы. Средняя скорость движения частицы вдоль границы раздела полей $v_x = 10^5$ м/с. Найти отношение индукции магнитного поля B_2 к индукции магнитного поля B_1.

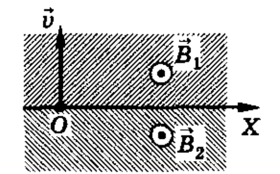


Рис. 13.22

13.82. Заряженная частица, двигаясь в магнитном поле по дуге окружности радиусом $R_1 = 2$ см, прошла через свинцовую пластину, расположенную на пути частицы. Вследствие потери энергии частицей радиус кривизны траектории изменился и стал $R_2 = 1$ см. Определить относительное изменение энергии частицы.

13.83. Электрон и позитрон, скорости которых одинаковы, движутся в однородном магнитном поле. Траектория движения электрона — окружность радиусом $R = 5{,}7$ мм. В момент времени $t = 0$ частицы находятся на расстоянии, много меньшем радиуса траектории электрона, и их скорости сонаправлены. Найти максимальное расстояние между частицами. Силу кулоновского взаимодействия между частицами не учитывать.

13.84. Пройдя ускоряющую разность потенциалов $U = 2000$ В, электрон влетает в однородное магнитное поле с индукцией $B = 150$ мкТл и движется по окружности радиусом $R = 1$ м в плоскости, перпендикулярной магнитному полю. Найти отношение заряда электрона к его массе.

13.85. Какую ускоряющую разность потенциалов U должна пройти частица массой $m = 0{,}5$ г и зарядом $q = 2$ мкКл, чтобы в однородном магнитном поле индукцией $B = 5$ мТл на нее действовала бы сила $F = 10^{-5}$ Н? Магнитное поле направлено перпендикулярно скорости частицы. Начальная скорость частицы $\upsilon_0 = 0$.

13.86. Частица массой $m = 10^{-5}$ кг и зарядом $q = 10^{-6}$ Кл ускоряется однородным электрическим полем напряженностью $E = 10$ кВ/м в течение времени $\Delta t = 10$ с. Затем она влетает в однородное магнитное поле с индукцией $B = 2{,}5$ Тл, силовые линии которого перпендикулярны скорости частицы. Найти силу, действующую на частицу со стороны магнитного поля. Начальная скорость частицы $\upsilon_0 = 0$.

13.87. Электрон ускоряется постоянным электрическим полем напряженностью E. Через время $t = 10^{-2}$ с он влетает в область, где есть еще и магнитное поле $\vec{B} \perp \vec{E}$. Во сколько раз нормальное ускорение электрона в этот момент больше его тангенциального ускорения, если $B = 10^{-5}$ Тл? Начальная скорость электрона $\upsilon_0 = 0$.

13.88. Электрон ускоряется однородным электрическим полем, напряженность которого $E = 1{,}6$ кВ/м. Пройдя в электрическом поле некоторый путь, он влетает в однородное магнитное поле и начинает двигаться по окружности радиусом $R = 2$ мм. Какой путь прошел электрон в электрическом поле? Индукция магнитного поля $B = 0{,}03$ Тл. Начальная скорость электрона $\upsilon_0 = 0$.

13.89*. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $U = 300$ В, движется параллельно прямолинейному проводнику на расстоянии $r = 4$ мм от него. Какая сила действует на электрон, если сила тока в проводнике $I = 5$ А?

13.90. Протон влетает в область действия однородного магнитного поля с индукцией $B = 0{,}1$ Тл, где движется по дуге окружности радиу-

сом $R = 4$ см. Затем протон попадает в однородное электрическое поле так, что движется против направления силовой линии. Какую разность потенциалов должен пройти протон, чтобы его скорость изменилась в $n = 2$ раза?

13.91*. Протон начинает движение со скоростью $v_0 = 100$ км/с в области совпадающих по направлению электрического и магнитного полей. Напряженность электрического поля $E = 210$ В/м, индукция магнитного поля $B = 3{,}3 \cdot 10^{-3}$ Тл. Определить для начального момента движения ускорения протона, если направление скорости: а) совпадает с направлением полей; б) перпендикулярно этому направлению.

13.92°. Заряженная частица движется по окружности радиусом $R = 1$ см в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл. Параллельно магнитному полю возбуждено электрическое поле с напряженностью $E = 100$ В/м. Определить промежуток времени Δt, в течение которого должно действовать электрическое поле, для того чтобы кинетическая энергия частицы возросла вдвое.

13.93°. Протон влетает в область электрического и магнитного полей, направленных по оси OX. Начальная скорость протона перпендикулярна силовым линиям полей. Определить, во сколько раз шаг второго витка траектории протона больше шага первого витка?

13.94°. Протон влетает под углом $\alpha = 60°$ в область однородного магнитного поля с индукцией $B = 1$ Тл и движется по спирали, радиус которой $R = 0{,}5$ см. Параллельно магнитному полю возбуждают однородное электрическое поле напряженностью $E = 10$ В/м (рис. 13.23). Определить промежуток времени, за который протон вылетит из области, где существуют эти поля, если длина этой области $l = 10$ м.

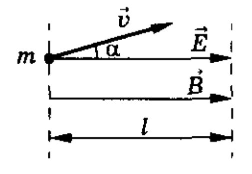


Рис. 13.23

13.95. Альфа-частица прошла ускоряющую разность потенциалов $U = 104$ В и влетела в область взаимно перпендикулярных электрического и магнитного полей. Напряженность электрического поля $E = 10$ кВ/м, индукция магнитного поля $B = 0{,}1$ Тл. Найти отношение заряда α-частицы к ее массе, если, двигаясь перпендикулярно обоим полям, частица не отклоняется от прямолинейной траектории.

13.96. Электрон движется в пространстве со взаимно перпендикулярными электрическим и магнитным полями. Скорость электрона постоянна и направлена перпендикулярно векторам $\vec{E}$ и $\vec{B}$. Найти скорость движения электрона, если напряженность электрического поля $E = 1$ кВ/м, индукция магнитного поля $B = 1$ мТл.

13.97*. Записать закон движения заряженной частицы, которая движется в области взаимно перпендикулярных электрического и магнитного полей. Масса частицы m, заряд q. В момент времени $t = 0$ частица находилась в начале координат и ее скорость $v_0 = 0$. Напряженность электрического поля E, индукция магнитного поля B.

13.98. Какую максимальную скорость разовьет заряженное тело, скользящее по наклонной плоскости в магнитном поле индукцией B (рис. 13.24)? Масса тела m, заряд q. Магнитное поле параллельно наклонной плоскости. Угол наклона плоскости к горизонту α. Коэффициент трения тела о плоскость μ.

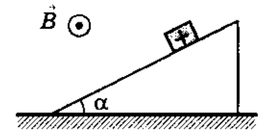


Рис. 13.24

13.99°. Небольшое тело массой m, имеющее положительный заряд q, начинает скользить с вершины гладкого полуцилиндра радиусом R (рис. 13.25). На какой высоте, считая от основания полуцилиндра, тело оторвется от него? Движение происходит в однородном магнитном поле с индукцией B, направленной перпендикулярно плоскости чертежа и наблюдателю.

13.100°. Небольшое заряженное тело массой m, прикрепленное к нити длиной l, может двигаться по окружности в вертикальной плоскости. Однородное магнитное поле с индукцией B перпендикулярно этой плоскости и направлено, как показано на рисунке 13.26. При какой наименьшей скорости тела $v_н$ в нижней точке оно сможет совершить полный оборот? Заряд тела положителен и равен q.

13.101°. В область взаимно перпендикулярных электрического и магнитного полей помещен диэлектрический шарик на нити длиной l (рис. 13.27). Масса шарика m, заряд q, напряженность электрического поля E, индукция магнитного поля B. Найти период малых колебаний такого маятника в плоскости, перпендикулярной магнитному полю.

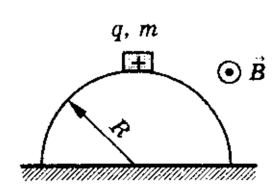


Рис. 13.25

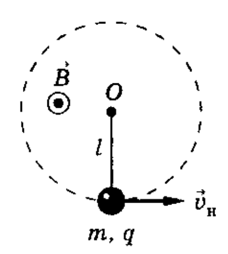


Рис. 13.26

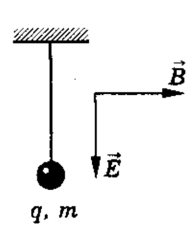


Рис. 13.27

Сила Ампера

13.102. В магнитное поле внесены четыре проводника с токами, направления которых показаны на рисунке 13.28. Каково направление силы Ампера, действующей на каждый провод?

13.103. Определить наибольшее и наименьшее значения силы, действующей на проводник с током длиной $l = 0{,}60$ м при его различных положениях в однородном магнитном поле, индукция которого $B = 1{,}5$ Тл. Сила тока в проводнике $I = 10$ А.

13.104. Прямолинейный проводник длиной $l = 1{,}5$ м находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 2$ Тл. Сила тока в проводнике $I = 3$ А. Направление тока составляет угол $\alpha = 45°$ с вектором магнитной индукции (рис. 13.29). Найти силу, действующую на проводник.

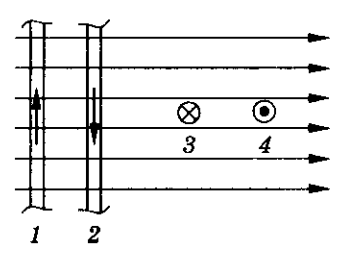




Рис. 13.28

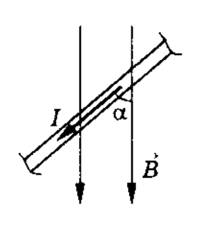


Рис. 13.29

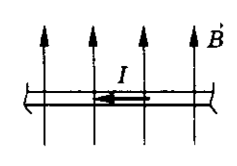


Рис. 13.30

13.105. Прямолинейный проводник длиной $l = 2$ м находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}25$ Тл. Сила тока в проводнике $I = 0{,}5$ А. Проводник перпендикулярен магнитной индукции (рис. 13.30). Найти модуль и направление силы, действующей на проводник.

13.106. Прямолинейный проводник длиной $l = 5$ м находится в однородном магнитном поле (рис. 13.31). На проводник со стороны поля действует сила $F = 2$ Н. Сила тока в проводнике $I = 1$ А. Найти модуль и направление индукции магнитного поля, если она перпендикулярна проводнику.

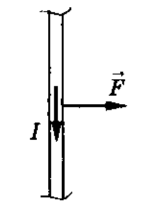


Рис. 13.31

13.107. На прямой проводник длиной $l = 0{,}5$ м, расположенный под углом $\alpha = 30°$ к силовым линиям поля с индукцией $B = 2 \cdot 10^{-2}$ Тл, действует сила $F = 0{,}15$ Н. Найти силу тока в проводнике.

13.108. Прямой провод длиной $l = 10$ см находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}01$ Тл. Сила тока в проводнике $I = 20$ А. Найти угол α между направлением магнитной индукции и направлением тока, если на провод действует сила $F = 10^{-2}$ Н.

13.109. Проводник находится в равновесии в горизонтальном магнитном поле с индукцией $B = 48$ мТл. Сила тока в проводнике $I = 23$ А. Угол между направлением тока и вектором магнитной индукции $\alpha = 60°$. Определить длину проводника, если его масса $m = 0{,}0237$ кг.

13.110. Проводник длиной $l = 1$ м расположен перпендикулярно силовым линиям горизонтального магнитного поля с индукцией $B = 8$ мТл. Какой должна быть сила тока в проводнике, чтобы он находился в равновесии в магнитном поле? Масса проводника $m = 8 \cdot 10^{-3}$ кг.

13.111. Горизонтальные рельсы находятся на расстоянии $l = 0{,}3$ м друг от друга. На них перпендикулярно рельсам лежит стержень. Какой должна быть минимальная индукция магнитного поля, чтобы проводник двигался равномерно, если по нему пропускать электрический ток? Коэффициент трения стержня о рельсы $\mu = 0{,}2$. Масса стержня $m = 0{,}5$ кг, сила тока $I = 50$ А.

13.112. Горизонтальные рельсы, расположенные на расстоянии $l = 0{,}2$ друг от друга, находятся в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией $B = 10^3$ Тл (рис. 13.32). Найти расстояние, которое по рельсам должен пройти проводник, чтобы он мог достичь первой космической скорости. Масса проводника $m = 0{,}2$ кг, сила тока в нем $I = 50$ А, первая космическая скорость $v = 7{,}8$ км/с. Трение в системе не учитывать.

13.113. Ускоритель плазмы состоит из двух параллельных проводников (рельсов), лежащих в плоскости, перпендикулярной магнитному полю с индукцией $B = 1$ Тл. Между точками C и D (рис. 13.33) в водороде поджигают электрический разряд. Ток в разряде поддерживают постоянным так, что средняя скорость направленного движения заряженных частиц (протонов) $v = 6 \cdot 10^5$ м/с. Под действием магнитного поля область разряда (плазменный сгусток) перемещается, разгоняясь к концам рельсов, и срывается с них. Чему равна скорость плазменного сгустка в момент срыва его с рельсов, если длина участка, на котором происходит ускорение плазмы, $l = 1$ м?

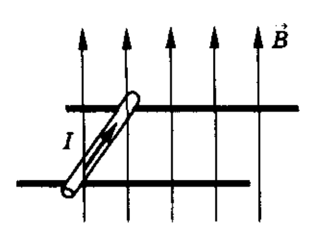


Рис. 13.32

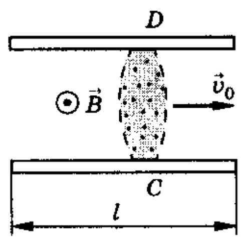


Рис. 13.33

13.114. На двух легких проводящих нитях горизонтально висит металлический стержень длиной $l = 0{,}25$ м и массой $m = 0{,}015$ кг. Стержень находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}3$ Тл, направленной вертикально вниз. Определить угол отклонения нитей от вертикали, если сила тока в стержне $I = 0{,}2$ А.

13.115*. Медный провод, площадь сечения которого $S = 2{,}5$ мм, согнутый как показано на рисунке 13.34, может поворачиваться вокруг горизонтальной оси OO'. Провод находится в однородном магнитном поле, направленном вертикально. При прохождении по проводнику тока, провод отклоняется на угол $\alpha = 20°$ от вертикали. Определить индукцию поля, если сила тока $I = 16$ А.

13.116°. Металлический стержень массой $m = 10$ г и длиной $L = 0{,}2$ м подвешен на двух легких проводах длиной $l = 10$ см в магнитном поле, индукция $B = 1$ Тл которого направлена вертикально вниз (рис. 13.35). К точкам крепления проводов подключен конденсатор емкостью $C = 100$ мкФ, заряженный до напряжения $U = 100$ В. Определить максимальный угол отклонения стержня от положения равновесия после разрядки конденсатора, если она происходит за очень малое время. Сопротивление стержня и проводов не учитывать.

13.117°. Проводящий стержень подвешен горизонтально на двух легких проводах в магнитном поле, индукция которого направлена вертикально вниз (рис. 13.36). К точкам крепления провода можно подключать конденсатор. Определить емкость конденсатора C_1, при разрядке которого стержень отклонится от вертикали на угол $\alpha = 3°$, если при разрядке заряженного до такого же напряжения конденсатора емкостью $C_0 = 10$ мкФ угол отклонения $\beta = 2°$. Сопротивление стержня и проводов не учитывать.

13.118. Прямой проводник длиной $l = 0{,}2$ м и массой $m = 5 \cdot 10^{-3}$ кг подвешен горизонтально на двух легких нитях в однородном магнитном поле, вектор напряженности которого горизонтален и перпендикулярен

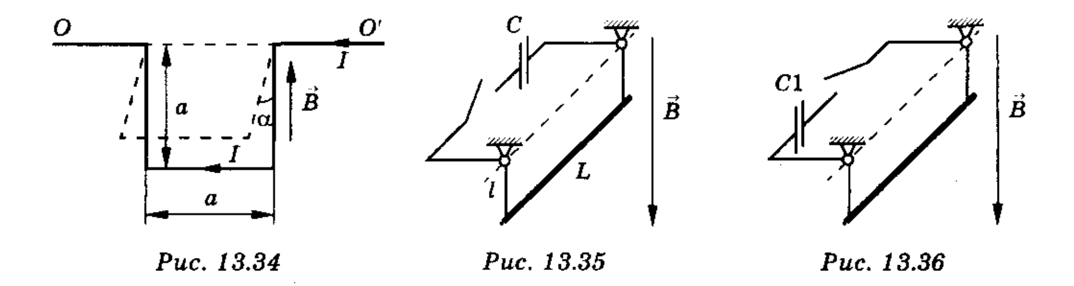


Рис. 13.34 Рис. 13.35 Рис. 13.36

проводнику (рис. 13.37). При какой силе тока нити разорвутся? Индукция магнитного поля $B = 4 \cdot 10^{-3}$ Тл. Каждая нить разрывается при нагрузке $T = 3{,}9 \cdot 10^{-2}$ Н.

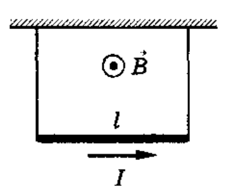


Рис. 13.37

13.119. Прямой провод расположен между полюсами электромагнита перпендикулярно силовым линиям магнитного поля. Сила тока в проводе $I = 1000$ А. С какой силой действует поле на единицу длины провода, если индукция поля электромагнита $B = 1$ Тл?

13.120. Шины электростанции представляют собой параллельные медные полосы, длиной $l = 3$ м каждая, находящиеся на расстоянии $R = 50$ см. С какой силой взаимодействуют шины при коротком замыкании? Сила тока короткого замыкания $I = 10$ А. Ширина шины много меньше расстояния R.

13.121. Сила тока в двух параллельных проводниках $I_1 = 20$ А и $I_2 = 30$ А соответственно, длина каждого проводника $l = 1$ м. Определить расстояние между проводниками R, если они взаимодействуют с силой $F = 4 \cdot 10^{-3}$ Н.

13.122. Два параллельных проводника, сила тока в которых одинакова, находятся на расстоянии $b = 8{,}7$ см друг от друга и притягиваются с силой $F = 2{,}5 \cdot 10^{-2}$ Н. Определить силу тока в проводнике, если длина каждого проводника $l = 320$ см.

13.123. Металлический стержень длиной $l = 0{,}15$ м расположен параллельно бесконечно длинному прямому проводу. Сила тока в проводе $I_2 = 2$ А. Найти силу, действующую на стержень со стороны магнитного поля, которое создается проводом, если сила тока в стержне $I_1 = 0{,}5$ А. Расстояние от провода до стержня $R = 5$ см.

13.124. В вертикальной плоскости расположены два горизонтальных прямых, параллельных друг другу проводника. Сила тока в каждом проводнике $I = 100$ А. Верхний проводник можно считать бесконечно длинным. Нижний проводник имеет длину $l = 10$ м и массу $m = 0{,}01$ кг. Каково должно быть расстояние между проводниками, чтобы сила их взаимодействия уравновешивала силу тяжести нижнего проводника?

13.125*. По кольцевому проводу (рис. 13.38) течет ток I_1, а по прямолинейному проводнику, расположенному на оси кольца, течет ток I_2. Определить силу взаимодействия этих токов.

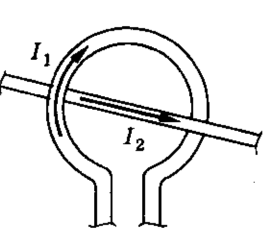


Рис. 13.38

13.126*. Проводник в виде тонкого полукольца радиусом $R = 10$ см находится в однородном

магнитном поле с индукцией $B = 5 \cdot 10^{-2}$ Тл. Сила тока в проводнике $I = 10$ А. Найти силу, действующую на проводник, если плоскость полукольца перпендикулярна линиям индукции, а подводящие провода находятся вне поля.

13.127. Какую минимальную работу совершает однородное магнитное поле с индукцией $B = 1{,}5$ Тл при перемещении проводника длиной $l = 0{,}2$ м на расстояние $d = 0{,}25$ м? Сила тока в проводнике $I = 10$ А. Направление перемещения перпендикулярно вектору магнитной индукции и направлению тока. Проводник расположен под углом $\alpha = 30°$ к вектору магнитной индукции.

13.128*. По двум прямолинейным проводникам, находящимся на расстоянии $r_1 = 5$ см друг от друга (рис. 13.39), текут токи в одном направлении. Сила тока в первом проводнике $I_1 = 10$ А, во втором проводнике — $I_2 = 20$ А. Определить работу на единицу длины проводника, необходимую для того, чтобы развести проводники на расстояние $r_2 = 10$ см.

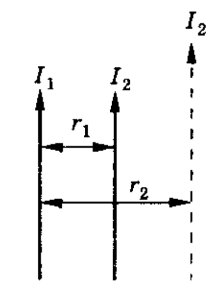


Рис. 13.39

13.129. В однородном магнитном поле, индукция которого $B = 0{,}5$ Тл, движется равномерно проводник длиной $l = 10$ см. Сила тока в проводнике $I = 2$ А. Скорость движения проводника $v = 20$ см/с и направлена перпендикулярно направлению магнитного поля. Найти работу по перемещению проводника за $t = 10$ с движения.

Контур с током в магнитном поле

13.130. На рисунке 13.40 показана рамка с током в однородном магнитном поле. а) Показать направление силы Ампера, действующей на каждую сторону рамки. б) Какое действие оказывает магнитное поле на рамку? в) Что нужно сделать, чтобы магнитное поле сжимало рамку?

13.131. На рисунке 13.41 показана рамка с током в магнитном поле. а) Показать направление силы, действующей на каждую сторону рамки.

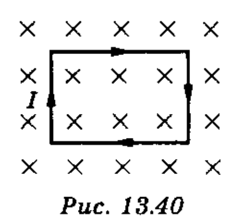


Рис. 13.40

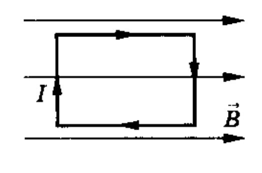


Рис. 13.41

б) Как будет поворачиваться рамка? в) Что нужно сделать, чтобы рамка повернулась в противоположную сторону?

13.132. К батарейке от карманного фонаря подключен гальванометр. Почему меняется направление поворота стрелки, если поменять местами провода у зажимов гальванометра?

13.133. Как зависит скорость вращения якоря электродвигателя от величины магнитного поля, создаваемого постоянным магнитом? Двигатель работает без нагрузки.

13.134. Модель электродвигателя работает без нагрузки. Почему греется обмотка, если пальцем затормозить вращение якоря?

13.135. Максимальный вращающий момент, действующий на рамку площадью $S = 1$ см^2, находящуюся в магнитном поле, $M = 2$ мкН · м. Сила тока в рамке $I = 0{,}5$ А. Найти индукцию магнитного поля.

13.136. Рамка площадью $S = 400$ см^2 помещена в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл так, что нормаль к рамке перпендикулярна линиям индукции. При какой силе тока на рамку будет действовать вращающий момент $M = 20$ мН · м?

13.137. Плоская прямоугольная катушка из $N = 200$ витков со сторонами $a = 10$ см и $b = 5$ см находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}05$ Тл. Какой максимальный вращающий момент может действовать на катушку в этом поле, если сила тока в катушке $I = 2$ А?

13.138. Рамка площадью $S = 200$ см^2 помещена в однородное магнитное поле, индукция которого $B = 0{,}1$ Тл, так, что нормаль к рамке составляет угол $\alpha = 30°$ с вектором магнитной индукции. Сила тока в рамке $I = 10$ А. Найти вращающий момент, действующий на рамку.

13.139. Виток диаметром $d = 0{,}2$ м может вращаться вокруг вертикальной оси, совпадающей с одним из диаметров витка. Виток установлен в плоскости магнитного меридиана, и сила тока в нем $I = 10$ А. Найти механический момент, который надо приложить к витку, чтобы удержать его в начальном положении. Горизонтальная составляющая магнитной индукции поля Земли $B = 20$ мкТл.

13.140. Из проволоки длиной $l = 20$ см сделаны контуры: а) квадратный; б) круговой. Найти вращающий момент сил, действующих на каждый контур, помещенный в однородное магнитное поле индукцией $B = 0{,}1$ Тл. Сила тока в каждом контуре $I = 2$ А, а плоскость каждого контура составляет угол $\alpha = 45°$ с вектором магнитной индукции.

13.141. Катушка гальванометра, состоящая из $N = 400$ витков тонкой проволоки, намотанной на прямоугольный каркас длиной $l = 3$ см и шириной $h = 2$ см, подвешена на нити в магнитном поле, индукция

которого $B = 0{,}1$ Тл. Сила тока в катушке $I = 10^{-7}$ А. Найти вращающий момент, действующий на катушку гальванометра, если:

а) плоскость катушки параллельна направлению магнитного поля;

б) плоскость катушки составляет $\alpha = 60°$ с направлением магнитного поля.

13.142*. В витке радиусом $R = 5$ см сила тока $I = 10$ А. Определить магнитный момент кругового тока.

13.143*. Электрон в невозбужденном атоме водорода движется вокруг ядра по окружности радиусом $R = 53$ см. Вычислить магнитный момент эквивалентного тока.

13.144*. Тонкое кольцо радиусом $R = 10$ см имеет заряд $q = 10$ нКл. Кольцо равномерно вращается с частотой $\nu = 10\ \text{с}^{-1}$ относительно оси, перпендикулярной плоскости кольца и проходящей через его центр. Найти магнитный момент кругового тока, создаваемого кольцом.

13.145*. Короткая катушка площадью поперечного сечения $S = 150$ см содержит $N = 200$ витков провода. Сила тока в катушке $I = 4$ А. Она помещена в однородное магнитное поле с напряженностью $H = 8$ кА/м. Определить магнитный момент катушки, а также вращающий момент, действующий на нее со стороны поля, если ось катушки составляет угол $\alpha = 60°$ с линиями индукции.

13.146*. Укрепленную на конце коромысла весов небольшую катушку К с числом витков $N = 200$ поместили в зазор между полюсами магнита (рис. 13.42). Площадь поперечного сечения катушки $S = 1$ см^2, длина плеча OA коромысла $l = 30$ см. В отсутствии тока весы уравновешены. Если через катушку пропустить ток, то для восстановления равновесия придется изменить груз на чаше весов на $\Delta m = 60$ мг. Найти индукцию магнитного поля при силе тока в катушке $I = 22$ мА.

13.147*. В центре длинного соленоида, на каждый метр длины которого приходится n витков, находится катушка, состоящая из N витков поперечного сечения S (рис. 13.43). Катушка укреплена на одном конце коромысла весов, которые, в отсутствии тока, находятся в равновесии. Когда через систему пропускают ток, то для уравновешивания весов на правое плечо коромысла добавляют груз массой m. Длина правого плеча

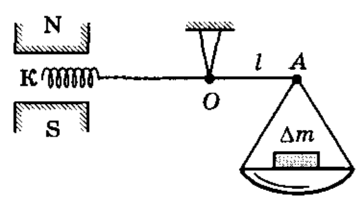



Рис. 13.42

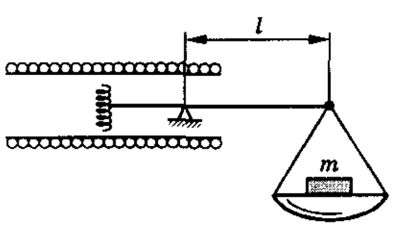


Рис. 13.43

коромысла l. Определить силу тока в системе, если катушка и соленоид соединены последовательно.

13.148*. Квадратная проволочная рамка расположена в одной плоскости с длинным прямым проводом так, что две ее стороны параллельны проводу. Сила тока в рамке и проводе одинакова и $I = 1$ кА. Определить силу, действующую на рамку, если ближайшая к проводу сторона рамки находится на расстоянии, равном ее длине.

13.149. В тонком проводнике в виде кольца радиусом $R = 20$ см сила тока $I = 100$ А. Перпендикулярно плоскости кольца создано однородное магнитное поле с индукцией $B = 2 \cdot 10^{-2}$ Тл. Чему равна сила, растягивающая кольцо?

13.150*. В жестком проволочном кольце диаметром $d = 10$ см сила тока $I = 5$ А. Плоскость кольца перпендикулярна магнитному полю, индукция которого $B = 2$ Тл. Определить механическое напряжение σ в проволоке, создаваемое магнитным полем. Площадь поперечного сечения $S = 5$ мм.

13.151. В кольце радиусом $R = 10$ мм, сделанном из медной проволоки сечением $S = 1$ мм^2, сила тока $I = 100$ мА. Кольцо помещено в однородное магнитное поле так, что его ось совпадает с направлением поля. При каком максимальном значении индукции магнитного поля кольцо не разорвется? Прочность меди на разрыв $\sigma = 2{,}3 \cdot 10^8$ Н/м^2.

13.152. Кольцо, сделанное из проволоки с удельным сопротивлением ρ, площадью сечения S, подключено к источнику тока с ЭДС $\mathscr{E}$ и внутренним сопротивлением r. Система находится в однородном магнитном поле с индукцией B, перпендикулярной плоскости кольца (рис. 13.44). Максимальная сила натяжения, которую выдерживает проволока T_0. Каков должен быть радиус R кольца, чтобы оно не разорвалось?

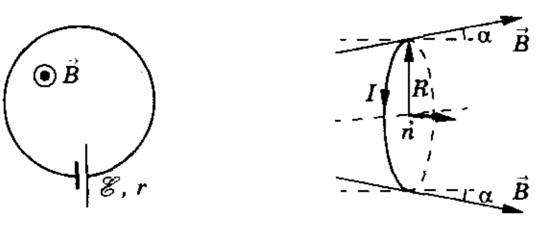


Рис. 13.44 *Рис. 13.45*

13.153*. Проволочное кольцо радиусом R находится в неоднородном магнитном поле, линии которого составляют в точках пересечения с кольцом угол α относительно нормали к плоскости кольца (рис. 13.45). Индукция магнитного поля, действующего на кольцо, равна B, сила тока в кольце I. С какой силой F магнитное поле действует на кольцо?

Магнитный поток

13.154. Какой магнитный поток пронизывает плоскую поверхность площадью $S = 50$ см^2 при индукции поля $B = 0{,}4$ Тл, если нормаль к этой поверхности: а) совпадает с направлением индукции магнитного поля; б) направлена под углом $\alpha = 45°$ к вектору магнитной индукции; в) направлена под углом $\alpha = 30°$ к вектору индукции магнитного поля?

13.155. Плоский контур площадью $S = 25$ см^2 находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}04$ Тл. Определить магнитный поток, пронизывающий контур, если его плоскость составляет угол $\alpha = 30°$ с линиями индукции.

13.156. В однородном магнитном поле, напряженность которого $B = 0{,}01$ Тл, помещена квадратная рамка. Ее плоскость составляет с направлением индукции магнитного поля угол $\alpha = 45°$. Сторона рамки $a = 4$ см. Определить поток магнитной индукции, пронизывающий рамку.

13.157. В магнитном поле, индукция которого $B = 0{,}05$ Тл, вращают стержень длиной $l = 1$ м. Ось вращения, проходящая через один из концов стержня, параллельна силовым линиям магнитного поля. Найти поток магнитной индукции, пересекаемый стержнем при каждом обороте.

13.158. Кольцо радиусом R помещено в перпендикулярное плоскости кольца магнитное поле, индукция которого в центральной области кольца l ($l < R$) равна $2B$, а в остальном пространстве внутри кольца — B. Определить магнитный поток Φ, пронизывающий кольцо.

13.159. Проволочный контур в виде квадрата со стороной $a = 20$ см расположен в магнитном поле так, что его плоскость перпендикулярна линиям индукции магнитного поля. Индукция магнитного поля $B = 0{,}2$ Тл. Контур повернули на угол $\alpha = 60°$. На сколько и как изменился магнитный поток, пронизывающий контур?

13.160. Проволочный контур в виде квадрата со стороной $a = 10$ см расположен в однородном магнитном поле так, что плоскость квадрата перпендикулярна линиям индукции магнитного поля. Индукция магнитного поля $B = 2$ Тл. На какой угол надо повернуть плоскость контура, чтобы изменение магнитного потока через контур составило $\Delta\Phi = 10$ мВб?

13.161. Виток находится в однородном магнитном поле так, что индукция направлена перпендикулярно его плоскости. На сколько изменится магнитный поток, пронизывающий виток, если его повернуть на 180°? Индукция магнитного поля $B = 0{,}3$ Тл, радиус витка $R = 0{,}2$ м.

13.162. Катушка помещена в однородное магнитное поле индукцией $B = 5$ мТл так, что ось катушки составляет угол $\alpha = 60°$ с вектором магнитной индукции. Радиус катушки $R = 20$ см. На сколько нужно изменить число витков катушки, чтобы магнитный поток через нее увеличился на $\Delta\Phi = 0{,}1$ Вб?

13.163. Кольцевой виток находится в постоянном магнитном поле с индукцией B. Виток, не перекручивая, превратили в восьмерку, составленную из двух равных колец. Во сколько раз n изменили магнитный поток, пронизывающий плоскость витка?

13.164. Кольцевой виток находится в однородном магнитном поле с индукцией, направленной перпендикулярно плоскости витка. Виток превратили в квадрат и повернули его так, что плоскость витка составляет угол $\alpha = 30°$ с линиями магнитной индукции. Во сколько раз при этом изменится магнитный поток, пронизывающий контур?

13.165. В магнитное поле, изменяющееся вдоль оси OX по закону $B = B_0 - kx$, где $k = 2$ мТл/м, помещен круглый проволочный виток диаметром $d = 2$ м так, что его плоскость перпендикулярна линиям индукции магнитного поля. Определить изменение магнитного потока через виток при его перемещении из точки с координатой $x_1 = 3$ м в точку с координатой $x_2 = 8$ м.

13.166. Рамка, площадь которой $S = 16$ см^2, вращается в однородном магнитном поле, делая $n = 2$ об/с. Ось вращения находится в плоскости рамки и перпендикулярна силовым линиям магнитного поля, индукция которого $B = 10^{-5}$ Тл. Найти: а) зависимость потока магнитной индукции, пронизывающего рамку, от времени; б) наибольшее значение потока магнитной индукции Φ_{max}. В начальный момент времени рамка перпендикулярна магнитному полю.

13.167. По проводу, согнутому в виде квадрата со стороной $a = 10$ см, проходит постоянный ток. Плоскость квадрата составляет угол $\alpha = 20°$ с линиями индукции магнитного поля $B = 0{,}1$ Тл. Сила тока в проводе $I = 20$ А. Вычислить работу, которую необходимо совершить для того, чтобы удалить провод за пределы поля.

13.168. По кольцу, сделанному из гибкого провода радиусом $R = 10$ см, проходит ток. Перпендикулярно плоскости кольца возбуждено магнитное поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл, по направлению совпадающей с вектором индукции собственного магнитного поля кольца. Определить работу внешних сил, которые действуют на провод и превращают его в квадрат. Силу тока при этом поддерживают неизменной $I = 100$ А.

13.169. Квадратная рамка со стороной $a = 10$ см, по которой течет ток, свободно установилась в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}2$ Тл. Определить работу, которую необходимо совершить, при медленном повороте рамки на угол $\alpha = \frac{\pi}{3}$ вокруг оси, лежащей в плоскости рамки и перпендикулярной линиям магнитной индукции. Сила тока в рамке $I = 200$ А.

13.170*. Круговой контур помещен в однородное магнитное поле так, что плоскость контура перпендикулярна силовым линиям поля. Напряженность магнитного поля $H = 16 \cdot 10^4$ А/м. Сила тока в контуре $I = 2$ А. Радиус контура $R = 2$ см. Какую работу надо совершить, чтобы медленно повернуть контур на угол $\alpha = 90°$ вокруг оси, совпадающей с диаметром контура?

13.171. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}25$ Тл находится плоская катушка радиусом $R = 0{,}25$ м, содержащая $N = 25$ витков. Плоскость катушки составляет угол $\beta = 60°$ с направлением индукции. Определить вращающий момент, действующий на катушку в магнитном поле, если сила тока в ней $I = 3$ А. Какую работу надо совершить, чтобы удалить катушку из магнитного поля?

13.172. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}06$ Тл находится прямоугольная рамка площадью $S = 40$ см^2. Рамка состоит из $N = 200$ витков и может вращаться вокруг оси, перпендикулярной линиям индукции поля. Когда по рамке пропускают ток, она располагается перпендикулярно линиям индукции поля. Определить работу, которую надо совершить, чтобы медленно повернуть рамку из этого положения: а) на 1/4 оборота; б) на 1/2 оборота; в) на целый оборот? Сила тока $I = 0{,}5$ А.

Электромагнитная индукция

13.173. Что происходит в кольце, когда в него входит магнит, если кольцо сделано из: а) непроводника; б) проводника; в) сверхпроводника?

13.174. Найти направление индукционного тока в неподвижной проволочной рамке, если к ней приближать магнит так, как показано на рисунке 13.46. Что нужно сделать, чтобы в рамке был индукционный ток противоположного направления?

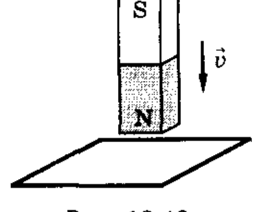


Рис. 13.46

13.175. Магнит вдвигают северным полюсом в металлическое кольцо. Как будет вести себя при этом кольцо?

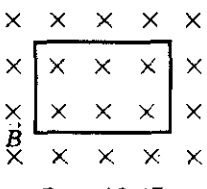


Рис. 13.47

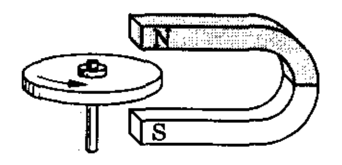


Рис. 13.48

13.176. Проволочная рамка помещена в магнитное поле так, как показано на рисунке 13.47. Индукцию магнитного поля начинают увеличивать. Определить направление индукционного тока в рамке. Что нужно сделать, чтобы изменить направление индукционного тока?

13.177. Между полюсами подковообразного магнита вращают алюминиевый диск (рис. 13.48) в направлении, указанном стрелкой. Каково направление индукционного тока: к центру или от центра диска? В каком электроизмерительном приборе используют такую вертушку?

13.178. Будет ли магнитное поле Земли индуцировать токи в искусственном спутнике Земли, движущемся: а) в плоскости экватора; б) в плоскости, проходящей через полюсы? Как эти токи будут влиять на движение спутника?

13.179. а) Почему в телефонной линии может быть слышна работа телеграфа или телефонный разговор, происходящий по соседней линии (рис. 13.49, *а*)? б) Почему для уменьшения помех телефонную линию делают двухпроводной? в) Для чего провода телефонной линии перекрещивают (рис. 13.49, *б*)?

13.180. Можно ли добиться отклонения стрелки гальванометра (не наклоняя его), имея в распоряжении лишь моток проволоки и полосовой магнит? Объяснить, как это сделать.

13.181. Будет ли в рамке *ABCD* возникать индукционный ток, если рамку: а) вращать относительно неподвижного проводника с током *OO'*, как показано на рисунке 13.50; б) вращать вокруг стороны *AB*;

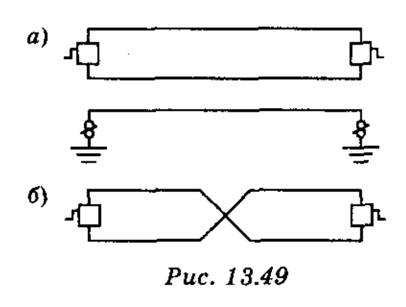


Рис. 13.49

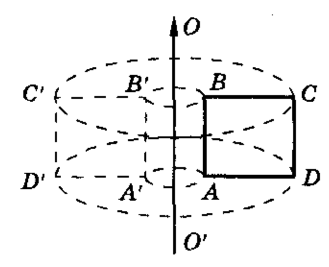


Рис. 13.50

в) вращать вокруг стороны BC; г) двигать поступательно в вертикальном направлении; д) двигать поступательно в горизонтальном направлении?

13.182. Будет ли возникать индукционный ток в круговом витке, находящемся в однородном магнитном поле, если: а) перемещать виток поступательно; б) вращать виток вокруг оси, проходящей через центр перпендикулярно плоскости витка; в) вращать виток вокруг оси, лежащей в его плоскости?

13.183. За время $t = 5$ мс в соленоиде, содержащем $N = 500$ витков, магнитный поток равномерно убывает от значения $\Phi_1 = 7$ мВб до значения $\Phi_2 = 3$ мВб. Найти величину ЭДС индукции в соленоиде.

13.184. Соленоид, состоящий из $N = 80$ витков и имеющий диаметр $d = 8$ см, находится в однородном магнитном поле, индукция которого $B = 0{,}06$ Тл. Соленоид поворачивают на угол $\alpha_1 = 180°$ в течение $t = 0{,}2$ с. Найти среднее значение ЭДС индукции соленоида, если его ось до и после поворота параллельна линиям магнитной индукции ($\alpha_2 = 0$).

13.185. Найти скорость изменения магнитного потока в соленоиде, состоящем из $N = 200$ витков, при возбуждении в нем ЭДС индукции $\mathscr{E}_i = 120$ В.

13.186. Сколько витков провода должна содержать обмотка на сердечнике площадью поперечного сечения $S = 50$ см^2, чтобы в ней при изменении магнитной индукции от $B_1 = 1{,}1$ Тл до $B_2 = 0{,}1$ Тл в течение времени $t = 5$ мс возбуждалась ЭДС индукции $\mathscr{E}_i = 100$ В?

13.187. Рамка, имеющая форму равностороннего треугольника, помещена в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0{,}08$ Тл. Перпендикуляр к плоскости рамки составляет с направлением магнитного поля угол $\alpha = 30°$. Определить длину стороны рамки, если известно, что среднее значение ЭДС индукции, возникающей в рамке при выключении поля в течение времени $\Delta t = 0{,}03$ с, $\mathscr{E}_i = 10$ мВ.

13.188. Магнитный поток, пронизывающий катушку, изменяется со временем, как показано на рисунке 13.51. Построить график зависимости ЭДС индукции, наводимой в катушке, от времени. Каково максимальное значение ЭДС индукции, если в катушке 400 витков провода?

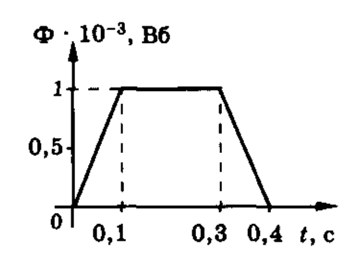


Рис. 13.51

13.189. Магнитное поле, силовые линии которого перпендикулярны контуру площадью S,

меняется так, как показано на рисунке 13.52. Построить график зависимости ЭДС индукции, наводимой в катушке, от времени.

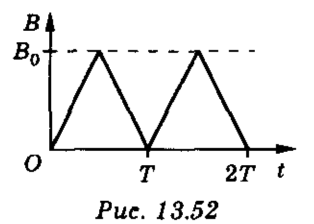


Рис. 13.52

13.190*. Контур площадью $S = 10^{-2}$ м^2 расположен перпендикулярно к линиям магнитной индукции. Магнитная индукция однородного магнитного поля изменяется по закону $B = (2 + 5t^2) \cdot 10^{-2}$. Определить зависимость магнитного потока и ЭДС индукции от времени. Определить мгновенное значение магнитного потока и ЭДС индукции в конце пятой секунды.

13.191*. Кольцевой виток находится в переменном магнитном поле, индукция которого изменяется по закону $B = B_m \sin\omega t$ и перпендикулярна плоскости витка. Виток, не перекрещивая, превратили в восьмерку, составленную из двух равных колец. Во сколько раз при этом изменилась амплитуда силы тока в витке? Индуктивностью витка пренебречь.

13.192*. Квадратную рамку из проводника вращают равномерно в перпендикулярном оси рамки переменном магнитном поле, изменяющемся по закону $B = 0{,}05\sin\pi t$. Сторона рамки $d = 20$ см. В начальный момент времени угол между плоскостью рамки и направлением индукции магнитного поля $\alpha = 90°$, угловая скорость вращения рамки π рад/с. Найти зависимость ЭДС индукции, которая возникает в рамке, от времени.

13.193. Проводник движется в однородном магнитном поле (рис. 13.53) со скоростью $v = 4$ м/с. Индукция магнитного поля $B = 0{,}2$ Тл. Определить напряженность электрического поля в проводнике.

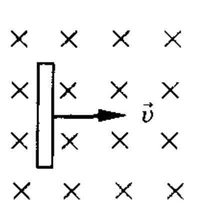


Рис. 13.53

13.194. Проводник длиной $l = 0{,}5$ м движется со скоростью $v = 5$ м/с перпендикулярно силовым линиям в однородном магнитном поле, индукция которого $B = 8$ мТ. Найти разность потенциалов, возникающую на концах проводника.

13.195. Найти ЭДС индукции, возникающей в проводнике, движущемся в однородном магнитном поле со скоростью $v = 5$ м/с под углом $\alpha = 30°$ к линиям магнитной индукции. Длина активной части проводника $l = 0{,}25$ м, индукция магнитного поля $B = 8$ мТл.

13.196. Прямой проводник длиной $l = 0{,}3$ м пересекает магнитное поле под углом $\alpha = 60°$ к линиям магнитной индукции со скоростью $v = 6$ м/с перпендикулярно линиям индукции. Определить магнитную индукцию, если ЭДС, индуцируемая в проводнике, $\mathscr{E}_i = 3{,}2$ В.

13.197. Найти разность потенциалов, возникающую между концами крыльев самолета ТУ-104, размах крыльев которого $l = 36{,}5$ м. Самолет летит горизонтально со скоростью $v = 900$ км/ч, вертикальная составляющая вектора индукции магнитного поля Земли $B = 5 \cdot 10^{-5}$ Тл.

13.198. Вертолет поднимается вертикально с постоянной скоростью $v = 80$ км/ч. Найти разность потенциалов между носовой и хвостовой частью корпуса вертолета, если его длина $l = 10$ м, а горизонтальная составляющая вектора индукции магнитного поля Земли $B = 2 \cdot 10^{-5}$ Тл.

13.199. Металлический стержень длиной $l = 1$ м падает с высоты $h = 10$ м, оставаясь все время параллельным поверхности земли. Какая максимальная разность потенциалов возникнет на концах стержня, если создать однородное магнитное поле с индукцией $B = 1$ мТл, параллельное поверхности земли? Магнитное поле Земли не учитывать.

13.200. На гладком горизонтальном столе лежит металлический стержень длиной $l = 160$ см. К одному из концов этого стержня прикреплен точно такой же стержень посредством шелковой нити, перекинутой через блок (рис. 13.54). Определить зависимость напряжения, которое возникает между концами каждого из стержней при движении, от времени. Трением пренебречь. Вертикальная составляющая магнитного поля Земли $B_в = 5 \cdot 10^{-5}$ Тл, горизонтальная — $B_г = 2 \cdot 10^{-2}$ Тл.

13.201. Металлический брусок, имеющий размеры $a \times b \times c$ ($b << a, c$), движется со скоростью v в магнитном поле с индукцией B (рис. 13.55). Найти разность потенциалов между боковыми сторонами бруска, поверхностную плотность заряда на них и заряд, возникающий на каждой стороне.

13.202*. По металлической ленте шириной $AC = a$ течет ток. Лента помещена в магнитное поле, индукция которого B перпендикулярна ленте (рис. 13.56). Определить разность потенциалов между точками A и C ленты, если площадь поперечного сечения ленты — S, сила тока в ней I, концентрация электронов n.

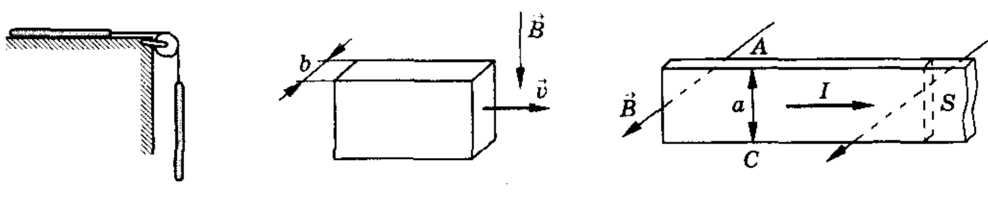


Рис. 13.54 *Рис. 13.55* *Рис. 13.56*

13.203°. Незаряженный металлический цилиндр радиусом R вращается в магнитном поле со скоростью ω вокруг своей оси. Индукция магнитного поля B направлена вдоль оси цилиндра. Определить напряженность электрического поля в цилиндре.

13.204. В магнитном поле с индукцией $B = 0{,}2$ Тл вращают стержень длиной $l = 0{,}2$ м с постоянной угловой скоростью $\omega = 50$ рад/с. Найти разность потенциалов на концах стержня, если ось вращения проходит через конец стержня параллельно силовым линиям магнитного поля (рис. 13.57).

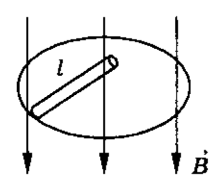


Рис. 13.57

13.205. Проводник длиной $l = 1$ м равномерно вращают в горизонтальной плоскости с частотой $\nu = 10$ Гц. Ось вращения проходит через конец стержня. Вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли $B = 50$ мкТл. Определить разность потенциалов между концами проводника.

13.206. Чему равна магнитная индукция однородного магнитного поля, если при вращении в нем прямолинейного проводника длиной l вокруг одного из его концов с постоянной угловой скоростью ω на концах проводника возникает напряжение U? Линии магнитной индукции перпендикулярны плоскости вращения.

13.207. Самолет, имеющий размах крыльев $l = 40$ м, совершает разворот в горизонтальной плоскости, двигаясь с постоянной угловой скоростью $\omega = 0{,}08$ рад/с по виражу радиусом $R = 3$ км. Найти разность потенциалов, возникающую между концами крыльев, если вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли $B = 5 \cdot 10^{-5}$ Тл.

13.208. Металлический стержень длиной $l = 0{,}2$ м подвесили горизонтально на двух легких проводах длиной $h = 0{,}1$ м в вертикальном магнитном поле с индукцией $B = 1$ Тл. Стержень отклоняют на $\alpha = 30°$ от положения равновесия и отпускают (рис. 13.58). Найти разность потенциалов между концами проводника в тот момент, когда он проходит положение равновесия.

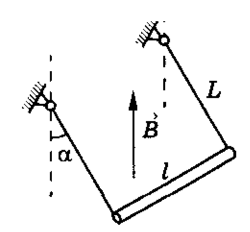


Рис. 13.58

13.209°. Металлический стержень массой $m = 100$ г и длиной $l = 1$ м расположен горизонтально и подвешен за середину к пружине с коэффициентом жесткости $k = 1$ Н/м. Стержень совершает гармонические колебания в вертикальной плоскости с амплитудой $x_{max} = 0{,}1$ м в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}01$ Тл, направленном перпендикулярно плоскости колебаний. Определить максимальную разность потенциалов, возникающую на концах стержня.

13—1695

13.210. Замкнутый проводник, сопротивление которого $R = 3$ Ом, находится в магнитном поле. В результате изменения индукции этого поля магнитный поток через проводник возрос от значения $\Phi_1 = 0{,}0002$ Вб до значения $\Phi_2 = 0{,}0005$ Вб. Какой электрический заряд прошел при этом через поперечное сечение проводника?

13.211. Проволочный виток радиусом $r = 4$ см и сопротивлением $R = 0{,}01$ Ом находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 10^{-2}$ Тл. Плоскость контура составляет угол $\alpha = 30°$ с линиями поля. Какой заряд пройдет по витку, если магнитное поле будет равномерно убывать до нуля?

13.212. Плоский виток площадью $S = 10$ см^2 сделан из проволоки сопротивлением $R = 0{,}5$ Ом. Силовые линии однородного магнитного поля с индукцией $B = 4$ Тл перпендикулярны плоскости витка. К витку присоединен гальванометр. Найти электрический заряд, прошедший через гальванометр при повороте витка на угол $\alpha = 120°$.

13.213. Плоский замкнутый контур сопротивлением $R = 5$ Ом охватывает площадь $S = 20$ см^2. Контур расположен в магнитном поле с индукцией $B = 0{,}03$ Тл так, что его плоскость параллельна линиям магнитной индукции. Контур поворачивают на 90°, и плоскость контура располагается перпендикулярно линиям магнитной индукции. Определить электрический заряд, прошедший за время поворота через гальванометр, включенный в контур.

13.214. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл расположен плоский проволочный виток так, что его плоскость перпендикулярна линиям магнитной индукции. Виток замкнут на гальванометр. Полный электрический заряд, прошедший через гальванометр при повороте витка, $q = 9{,}5 \cdot 10^{-3}$ Кл. На какой угол повернули виток? Площадь витка $S = 10^2$ см^2, сопротивление $R = 2$ Ом.

13.215. На рамку площадью $S = 5$ см^2 намотано $N = 1000$ витков провода, сопротивление которого $R = 100$ Ом. Она помещена в однородное магнитное поле с индукцией $B = 10$ мТл, причем линии индукции перпендикулярны ее плоскости. Какой электрический заряд пройдет через гальванометр, подключенный к рамке, если направление вектора магнитной индукции изменить на противоположное?

13.216. На рамку площадью $S = 100$ см^2 намотано $N = 100$ витков провода, сопротивление которого $R = 10$ Ом. Концы провода замкнули. Рамку равномерно вращают в однородном магнитном поле с индукцией $B = 50$ мТл. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна

линиям индукции. Какой электрический заряд пройдет по цепи при повороте ее в диапазоне углов: а) 0—30°; б) 30—60°; в) 60—90°; г) 0—180° (α — угол между вектором индукции и нормалью к рамке)?

13.217. В замкнутую накоротко катушку из медной проволоки, вводят магнит, создающий внутри катушки однородное магнитное поле с индукцией B = 10 мТл. Какой электрический заряд пройдет при этом по катушке? Радиус витка катушки r = 10 см, площадь сечения проволоки S = 0,1 мм^2.

13.218. Из провода длиной l = 2 м сделан квадрат, который расположен горизонтально. Какой электрический заряд пройдет по проводу, если его потянуть за две диагонально противоположные вершины так, чтобы он сложился? Сопротивление провода R = 0,1 Ом. Вертикальная составляющая магнитного поля Земли B = 50 мкТл.

13.219. Четыре одинаковые проволоки, длиной l каждая, соединенные шарнирно, образуют квадрат. Квадрат помещен в однородное магнитное поле с индукцией B, перпендикулярное его плоскости. Противоположные вершины проволочного квадрата растягивают до тех пор, пока он не превращается в прямой проводник. Какой электрический заряд пройдет при этом через гальванометр, соединенный последовательно с одной из проволок, если сопротивление каждой проволоки равно $\frac{R}{4}$?

13.220. Тонкий медный провод массой m = 1 г согнут в виде квадрата и концы его замкнуты. Квадрат помещен в однородное магнитное поле (B = 0,1 Тл) так, что плоскость его перпендикулярна линиям индукции поля. Определить электрический заряд, который пройдет по проводнику, если квадрат, потянув за противоположные вершины, вытянуть в линию.

13.221. Кольцо радиусом R = 10 см из медной проволоки диаметром d = 1 мм помещено в однородное магнитное поле с индукцией B = 1 Тл так, что плоскость кольца перпендикулярна линиям индукционного магнитного поля. Кольцо преобразуют в квадрат. Какой электрический заряд пройдет по проводнику при этом?

13.222°. Кольцо радиусом r = 6 см из провода сопротивлением R = 0,2 Ом расположено перпендикулярно однородному магнитному полю с индукцией B = 20 мТл. Кольцо складывают так, что получаются два одинаковых кольца в виде восьмерки, лежащей в той же плоскости, что и кольцо. После этого магнитное поле выключают. Какой электрический заряд пройдет по проводу: а) когда кольцо складывают; б) когда выключают магнитное поле?

13.223°. Проволочное кольцо диаметром $d = 0{,}1$ м расположено перпендикулярно линиям магнитной индукции $B = 2$ Тл однородного магнитного поля. Какая средняя ЭДС индукции возникает в контуре, если за время $\Delta t = 0{,}1$ с его форма станет такой, как показано на рисунке 13.59? Диаметр левого кольца $d_1 = \frac{d}{4}$. Какой электрический заряд пройдет по кольцу при изменении формы контура, если сопротивление проводника $R = 0{,}2$ Ом?

Рис. 13.59

13.224. Проводящая рамка в форме равностороннего треугольника со стороной $a = 10$ см может вращаться вокруг одной из сторон. Рамка помещена в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны оси вращения рамки и параллельны ее плоскости. При повороте рамки на некоторый угол по ней прошел заряд $q = 10$ мкКл. Определить угол, на который была повернута рамка, если индукция магнитного поля $B = 8$ мТл, сопротивление рамки $R = 3$ Ом.

13.225. В однородном магнитном поле находится плоский виток площадью $S = 100$ см^2. Силовые линии поля перпендикулярны плоскости витка. Найти силу тока, проходящего по витку, когда поле возрастает с постоянной скоростью $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 1$ Тл/с. Сопротивление витка $R = 10$ Ом.

13.226. Однородное магнитное поле перпендикулярно плоскости медного проволочного кольца, имеющего диаметр $D = 2$ см и толщину $d = 2$ мм. С какой скоростью должно изменяться во времени магнитное поле, чтобы сила индукционного тока в кольце была $I = 10$ А?

13.227*. Магнитное поле, перпендикулярное плоскости контура, составленного из четырех сопротивлений $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = 2R_1$, $R_3 = 3R_1$, $R_4 = 4R_1$ (рис. 13.60), изменяется по закону $B = 2t$. Определить силу тока во всех сопротивлениях. Площадь контура $S = 0{,}5$ м^2.

13.228. Проводящее кольцо радиусом $r = 2$ см, сопротивление которого $R = 0{,}1$ Ом, помещено в магнитное поле, индукция которого зависит от времени по закону, график которого представлен на рисунке 13.61. Построить график зависимости индукционного тока в кольце от времени.

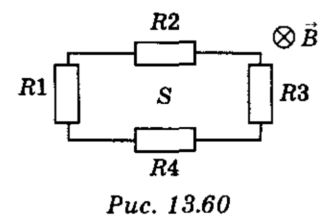


Рис. 13.60

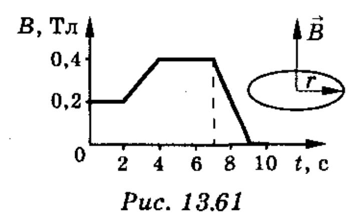


Рис. 13.61

13.229*. Плоский виток площадью $S = 10$ см^2 расположен перпендикулярно силовым линиям однородного магнитного поля. Какой будет сила тока в витке в момент времени $t = 5$ с? Индукция магнитного поля убывает по закону $B = B_0(a - ct^2)$, где $B_0 = 1$ мТл, $c = 0{,}1$ с$^{-2}$, a — некоторая постоянная. Сопротивление витка $R = 1$ Ом.

13.230*. Рамка площадью $S = 100$ см^2 расположена перпендикулярно силовым линиям магнитного поля. Индукция магнитного поля меняется по закону $B = ct^3 - at^2$, где $a = 3$ Тл/с^3, $c = 1$ Тл/с^2, t — время. Сопротивление рамки $R = 10^{-2}$ Ом. Найти зависимость от времени силы индукционного тока. В какой момент времени сила тока максимальна и чему она равна?

13.231°. Проводящий стержень OA вращают вокруг точки O в плоскости, перпендикулярной индукции магнитного поля $B = 1$ Тл, с угловой скоростью $\omega = 300$ рад/с. Свободный конец стержня скользит по дуге окружности радиусом $R = 0{,}1$ м (рис. 13.62). Между точкой дуги C и точкой крепления стержня включена батарея с ЭДС $\mathscr{E}$ и внутренним сопротивлением r. Направление вращения стержня и направление магнитной индукции показаны на рисунке. Сопротивление стержня, дуги и контакта не учитывать. Определить напряжение на зажимах батареи.

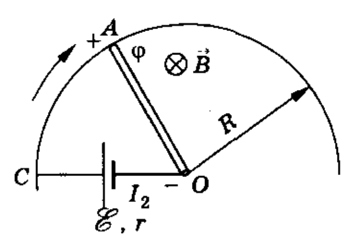


Рис. 13.62

13.232. Замкнутая катушка, состоящая из $N = 1000$ витков, помещена в магнитное поле, направленное вдоль оси катушки. Площадь поперечного сечения катушки $S = 4$ см^2, сопротивление $R = 160$ Ом. Найти мощность потерь на нагревание проводов, если магнитное поле равномерно изменяется со скоростью $\dfrac{\Delta B}{\Delta t} = 10^{-6}$ Тл/с.

13.233. Из проволоки с сопротивлением R и длиной l сделали кольцо и поместили его в однородное магнитное поле, индукция которого изменяется со временем по закону $B = \alpha t$, где α — известная постоянная. Определить мощность тока в проволоке, если плоскость кольца перпендикулярна линиям индукции магнитного поля.

13.234. Катушка, содержащая $N = 1000$ витков изолированного провода, находится в однородном магнитном поле, индукция которого равномерно меняется со скоростью $\dfrac{\Delta B}{\Delta t} = 0{,}8$ Тл/с. Индукция магнитного поля перпендикулярна плоскости витков катушки. Концы катушки присоединяют к сопротивлению $R = 12$ Ом, значительно превосходящему сопротивление катушки. Определить мощность P тепловых потерь на сопротивлении R. Радиус витка катушки $r = 6$ см.

13.235. Плоская рамка в форме равностороннего треугольника со стороной $a = 0,6$ м помещена в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,2$ мТл так, что линии магнитной индукции перпендикулярны плоскости рамки. Определить количество теплоты, выделяющееся в рамке, если ее преобразовать в квадрат. Рамка выполнена из медной проволоки сечением $S = 1$ мм^2. Считать, что за время преобразования рамки $\Delta t =$ $= 5$ с тепло выделялось равномерно.

13.236. Проволочное кольцо диаметром d, имеющее сопротивление R, помещено в переменное однородное магнитное поле, перпендикулярное его плоскости. Магнитная индукция нарастает линейно за время t_1 от нуля до B и затем линейно уменьшается до нуля за время t_2. Какое количество теплоты выделится в кольце?

13.237. Кольцо радиусом r из проволоки, диаметр которой d, удельное сопротивление ρ, помещено в меняющееся однородное магнитное поле, перпендикулярное плоскости кольца. Магнитная индукция линейно нарастает за время t_1 от нуля до значения B, затем линейно убывает за время t_2 от B до $\frac{B}{2}$. Какое количество тепла выделится в кольце за все это время?

13.238. Квадратную рамку со стороной $a = 2$ мм проносят с постоянной скоростью $v = 10$ см/с через область магнитного поля с индукцией $B = 1$ Тл шириной $l = 1$ см (рис. 13.63). Сопротивление рамки $R = 0,02$ Ом. Построить график зависимости от времени ЭДС индукции, возникающей в рамке при ее движении. Какое количество тепла выделится в рамке?

13.239*. Через область однородного магнитного поля шириной c перемещают равномерно со скоростью v, перпендикулярной вектору магнитной индукции B, прямоугольную рамку. Стороны рамки a и b, сопротивление R, плоскость рамки перпендикулярна магнитному полю. Определить эффективное значение силы тока I, возникающего в рамке при ее полном прохождении области магнитного поля (рис. 13.64). Считать, что $c > b$.

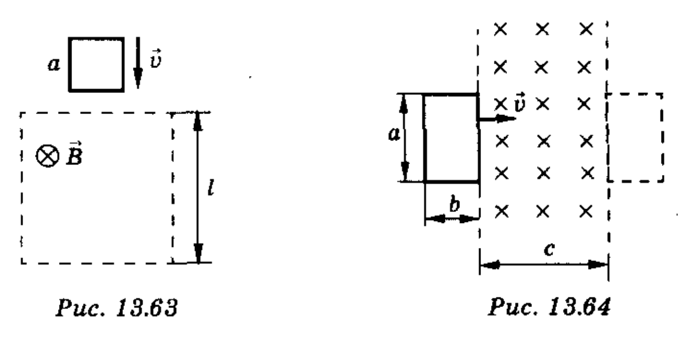


Рис. 13.63 Рис. 13.64

13.240. Металлический стержень длиной $l = 10$ см помещен в однородное магнитное поле с индукцией $B = 1$ Тл. Концы его замкнуты гибким проводом, находящимся вне поля. Сопротивление всей цепи $R = 0{,}4$ Ом. Какая минимальная мощность потребуется для того, чтобы перемещать стержень перпендикулярно линиям индукции со скоростью $v = 20$ м/с?

13.241. Между двумя параллельными проводящими шинами включена лампочка сопротивлением $R = 100$ Ом. По шинам без трения может скользить проводящая перемычка. Расстояние между шинами $l = 10$ см. Вся система находится в однородном магнитном поле, индукция которого перпендикулярна плоскости, в которой лежат шины (рис. 13.65). Индукция магнитного поля $B = 0{,}2$ Тл. Если перемычку тянуть с силой $F = 10$ мкН, то она движется с постоянной скоростью. Определить эту скорость. Определить мощность лампочки. Сопротивлением всех элементов цепи, кроме лампочки, пренебречь.

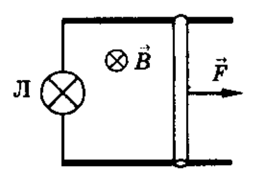


Рис. 13.65

13.242. П-образный проводник расположен в горизонтальной плоскости и помещен в вертикальное однородное магнитное поле с индукцией $B = 0{,}2$ Тл, как показано на рисунке 13.66. По проводнику может скользить перемычка длиной $l = 0{,}2$ м и массой $m = 0{,}03$ кг. Коэффициент трения между перемычкой и проводником $\mu = 0{,}05$. Перемычке сообщают горизонтальную скорость $v_0 = 4$ м/с. Какую горизонтальную силу надо приложить к перемычке, чтобы она двигалась равномерно? Сопротивление перемычки $R = 8$ Ом, сопротивлением П-образного проводника пренебречь.

13.243°. По металлическому П-образному стержню перемещают проводящую перемычку с постоянной скоростью $v = 2$ м/с. Образованный перемычкой и стержнем контур (рис. 13.67) находится в однородном магнитном поле, перпендикулярном плоскости контура. Индукция магнитного поля $B = 0{,}1$ Тл, длина перемычки $h = 0{,}5$ м. В начальный момент времени расстояние $l_0 = 1$ м. Определить силу индукционного тока в контуре через $t = 0{,}5$ с после начала движения, если сопротивление единицы длины контура $R_1 = 1$ Ом/м.

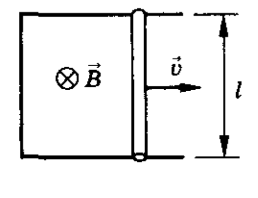


Рис. 13.66

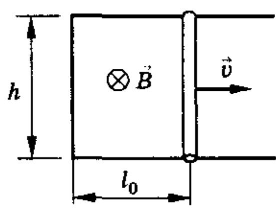


Рис. 13.67

13.244°. Прямоугольная проводящая рамка, одна из сторон которой CD движется по направляющим со скоростью v, расположена перпендикулярно однородному магнитному полю с индукцией B (рис. 13.68). Удельное сопротивление проволоки ρ. Стороны BC и AD первоначально имели длину l_0, длина стороны AB и подвижного звена CD равна h. Площадь сечения проводника рамки S. Как будут меняться со временем показания амперметра, если его внутреннее сопротивление мало?

13.245. Два параллельных проводящих стержня расположены в горизонтальной плоскости на расстоянии $l = 0{,}1$ м друг от друга. Стержни помещены в вертикальное магнитное поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл и замкнуты лежащей на них перемычкой массой $m = 0{,}1$ кг. При подключении к стержням источника тока с внутренним сопротивлением $r = 0{,}1$ Ом перемычка начинает скользить вдоль них, трогаясь с места с ускорением $a = 0{,}1$ м/с^2. Какой максимальной скорости может достичь перемычка? Сопротивлением стержней, перемычки и контактов пренебречь.

13.246°. Квадратная проволочная рамка $ACDE$ со стороной $l = 0{,}2$ м помещена в магнитное поле с индукцией $B = 0{,}7$ Тл, причем вектор $\vec{B}$ перпендикулярен плоскости рамки (рис. 13.69). По рамке с постоянной скоростью $v = 0{,}6$ м/с скользит перемычка MN, сделанная из той же проволоки. Найти разность потенциалов точек C и D в момент, когда перемычка находится посередине; у правого края кромки.

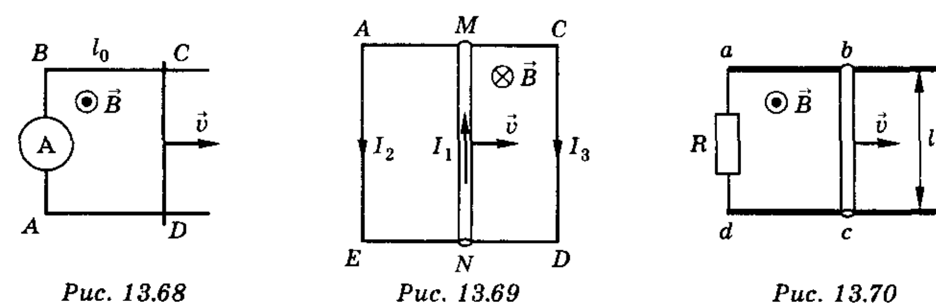


Рис. 13.68 *Рис. 13.69* *Рис. 13.70*

13.247°. Исходя из условия предыдущей задачи, найти мощность, развиваемую силой F, приводящей перемычку в движение, в тот момент, когда она находится посередине рамки. Проволока, из которой выполнены рамка и перемычка, имеют сопротивление на единицу длины $\lambda = 0{,}01$ Ом/м.

13.248*. По двум металлическим параллельным рейкам, замкнутым на сопротивление R, перемещают проводник длиной l. Скорость перемещения проводника v. Вся система находится в однородном магнитном поле, индукция которого перпендикулярна плоскости, в которой лежат рейки (рис. 13.70), и изменяется во времени по закону $B = B_0 + kt$, где

k — постоянная величина. Определить силу тока в цепи и его направление. Площадь контура $abcd$ в начальный момент равна S.

13.249°. Два длинных гладких параллельных проводника лежат на расстоянии l друг от друга в одной плоскости, образующей угол α с горизонтом. Поперек них расположен проводящий стержень массой m, имеющий сопротивление R. Проводники замкнуты через проводящую перемычку. Вся система помещена в горизонтальное однородное магнитное поле с индукцией B. Стержень начинают тянуть с постоянной силой F вниз вдоль проводников от перемычки. Определить максимальную скорость движения стержня, если сопротивления проводников и перемычки равны нулю.

13.250°. По двум металлическим стержням, замкнутым проводником и расположенным параллельно друг другу (рис. 13.71) на расстоянии $l = 0{,}5$ м под углом $\alpha = 30°$ к горизонту, движется стержень массой $m = 1$ кг. Система расположена в однородном вертикальном магнитном поле индукцией $B = 1$ Тл. Определить установившуюся скорость движения стержня, если коэффициент трения $\mu = 0{,}5$. Сопротивление контура постоянно и $R = 1$ Ом.

13.251°. Металлический стержень AC, сопротивление единицы длины которого λ, движется с постоянной скоростью v, перпендикулярной AC, замыкая два проводника OD и OE, образующих друг с другом угол α (рис. 13.72). Длина OE равна l и $AC \perp OE$. Вся система находится в однородном постоянном магнитном поле индукции B, перпендикулярном плоскости системы. Найти количество теплоты, которое выделится в цепи при движении стержня AC от точки O до точки E. Сопротивлением проводников OD и OE пренебречь.

13.252°. Металлический стержень согнут в виде угла $2\alpha = 60°$ (рис. 13.73). Проводящая перемычка, расположенная перпендикулярно биссектрисе угла, перемещается поступательно с постоянной скоростью $v = 5$ м/с вдоль биссектрисы, образуя треугольный контур. Система помещена в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл, перпендикулярно плоскости контура. Определить силу тока, индуцируемого в контуре, если сопротивление единицы длины контура $\lambda = 1$ Ом/м.

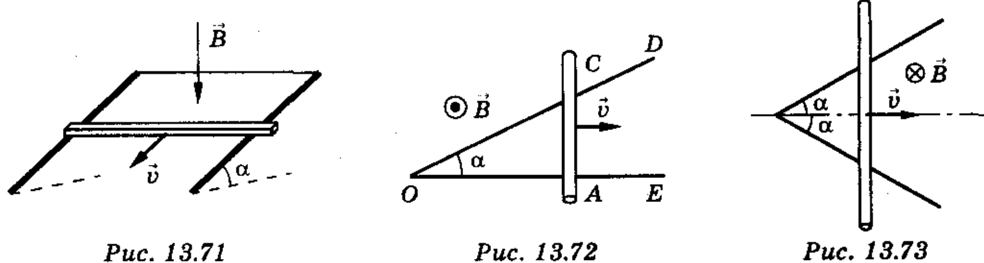


Рис. 13.71 *Рис. 13.72* *Рис. 13.73*

13.253°. Стержень длиной l = 1 м и сопротивлением R = 1 Ом поместили в однородное магнитное поле с индукцией B = 0,1 Тл под углом $\alpha = 90°$ к силовым линиям поля. Стержень подключен к источнику с ЭДС $\mathscr{E}$ = 2 В (рис. 13.74). С какой скоростью и в каком направлении следует перемещать стержень, чтобы через него не шел ток? Какой силы ток будет в стержне, если его перемещать в противоположную сторону с той же скоростью?

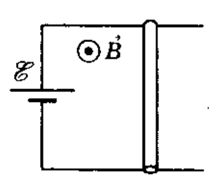


Рис. 13.74

13.254°. В однородном магнитном поле с магнитной индукцией B перпендикулярно силовым линиям со скоростью v перемещают металлический стержень длиной l. Концы этого стержня присоединены к источнику ЭДС $\mathscr{E}$, внутреннее сопротивление которого r. Сопротивление стержня R. Определить количество теплоты Q, выделившееся за время t в этом стержне. С какой скоростью и в каком направлении нужно перемещать стержень, чтобы тепло в нем не выделялось? Сопротивление подводящих проводов не учитывать.

13.255°. Горизонтальный проводник массой m и длиной l может скользить по двум вертикальным проводящим стержням без нарушения электрического контакта. Стержни разведены на расстояние l друг от друга и соединены внизу источником тока, ЭДС которого равна $\mathscr{E}$ (рис. 13.75). Перпендикулярно плоскости движения создано постоянное однородное магнитное поле с индукцией B. Найти установившуюся скорость, с которой будет подниматься проводник. Сопротивление проводника R. Сопротивлением стержней и источника тока, а также трением пренебречь.

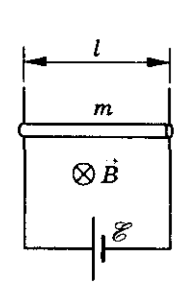


Рис. 13.75

13.256. Проволочный виток, площадь которого $S = 10^2$ см^2, разрезан в некоторой точке, и в разрез включен конденсатор емкостью C = 10 мкФ. Виток помещен в однородное магнитное поле, силовые линии которого перпендикулярны к плоскости витка. Индукция магнитного поля равномерно изменяется со скоростью $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 5 \cdot 10^{-3}$ Тл/с. Определить заряд конденсатора q.

13.257. Однослойная катушка с диаметром каркаса d = 2 см содержит N = 1000 витков провода. К концам катушки подключен конденсатор емкостью C = 20 мкФ. Данную катушку помещают в однородное магнитное поле, параллельное ее оси, индукция которого равномерно изменяется со скоростью $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ = 0,1 Тл/с. Найти заряд конденсатора q, электрическую энергию конденсатора W.

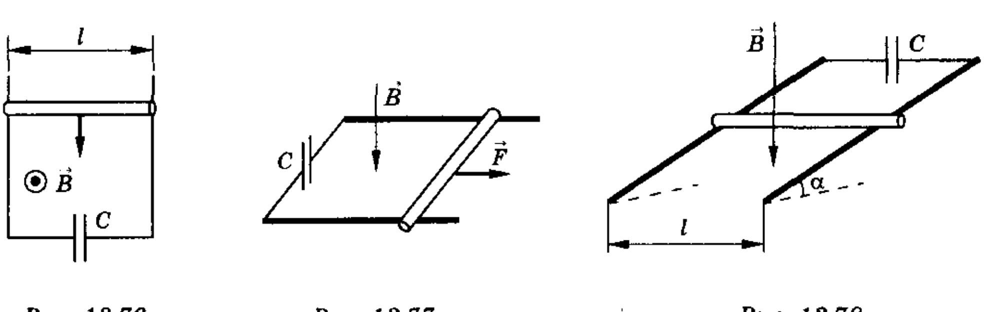


Рис. 13.76 Рис. 13.77 Рис. 13.78

13.258. Горизонтальный проводящий стержень массой m и длиной l может скользить без трения по двум вертикальным проводящим стержням, соединенным внизу конденсатором емкостью C. Однородное магнитное поле с индукцией B перпендикулярно плоскости падения стержня (рис. 13.76). Определить ускорение стержня. Электрическим сопротивлением цепи пренебречь.

13.259. Две металлические параллельные рейки расположены в горизонтальной плоскости и замкнуты на конденсатор емкостью $C = 400$ мкФ. По рейкам начинает двигаться без трения проводник массой $m = 2$ кг и длиной $l = 1$ м под действием горизонтальной силы $F = 10$ Н (рис. 13.77). Определить ускорение проводника, если индукция магнитного поля $B = 50$ Тл и направлена вертикально вниз.

13.260°. По двум металлическим стержням, установленным параллельно друг другу на расстоянии $l = 0{,}5$ м и под углом $\alpha = 45°$ к горизонту, скользит под действием силы тяжести проводящая перемычка массой $m = 0{,}1$ кг (рис. 13.78). Стержни замкнуты конденсатором емкостью $C = 400$ мкФ. Система находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл, силовые линии которого вертикальны. Определить установившееся ускорение перемычки, если коэффициент трения между перемычкой и каждым из стержней $\mu = 0{,}2$. Электрическим сопротивлением стержней и перемычки пренебречь.

13.261°. Металлический стержень массой $m = 1$ кг и длиной $L = 0{,}5$ м подвешен горизонтально на двух легких проводах длиной $l = 30$ см в магнитном поле, индукция которого $B = 100$ Тл направлена вертикально вниз (рис. 13.79). К точкам крепления проводов подключен конденсатор емкостью $C = 100$ мкФ. Стержень вывели из положения равновесия и отпустили. Определить период малых колебаний стержня T. Сопротивлением стержня и проводов пренебречь.

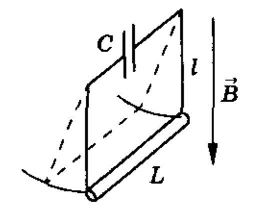


Рис. 13.79

Электромагнетизм

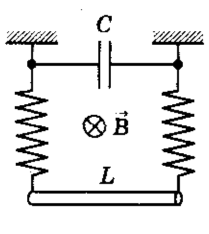




Рис. 13.80

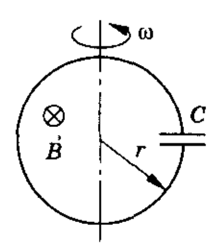


Рис. 13.81

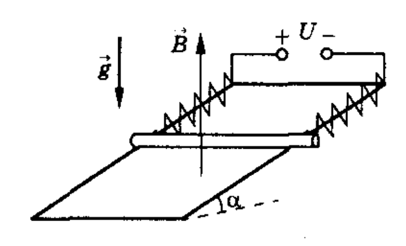


Рис. 13.82

13.262°. Проводник массой $m = 1$ кг и длиной $l = 1$ м подвешен при помощи двух одинаковых металлических пружин, жесткостью $k = 100$ Н/м каждая. Проводник находится в однородном магнитном поле, индукция которого $B = 100$ Тл и перпендикулярна плоскости, в которой лежат проводник и пружины (рис. 13.80). Проводник сместили в вертикальной плоскости от положения равновесия и отпустили. Определить период колебаний проводника, если к верхним концам пружин присоединен конденсатор емкостью $C = 100$ мкФ. Сопротивлением проводника и пружин пренебречь.

13.263°. Обкладки конденсатора замкнуты проводящим кольцом, радиус которого r (рис. 13.81). Система помещена в однородное магнитное поле с индукцией B, направленной перпендикулярно плоскости кольца. Кольцо начинают вращать вокруг оси, проходящей через его диаметр. Угловая скорость вращения ω, емкость конденсатора C. Определить максимальную силу тока в кольце.

13.264°. На непроводящем клине с углом наклона $\alpha = 30°$ параллельно ребру клина лежит тонкий проводник массой $m = 5$ г и длиной $l = 10$ см. Концы проводника соединены с неподвижными стойками двумя одинаковыми пружинами жесткостью $k = 0{,}2$ Н/м так, как показано на рисунке 13.82. К клеммам стоек подводят постоянное напряжение $U = 4$ В. Определить максимальное удлинение пружины, если в пространстве создать однородное магнитное поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл, направленное вертикально вверх. Коэффициент трения проводника о плоскость клина $\mu = 0{,}1$, его сопротивление $R = 20$ Ом. Сопротивление пружин не учитывать.

13.265. Проводник OD может скользить по дуге ADC радиусом l. Постоянное однородное магнитное поле с индукцией B перпендикулярно плоскости дуги. Какую силу надо приложить в точке D перпендикулярно проводнику OD (рис. 13.83), чтобы вращать его с постоянной скоростью? Сопротивление участка OC равно R. Сопротивление остальных проводников не учитывать.

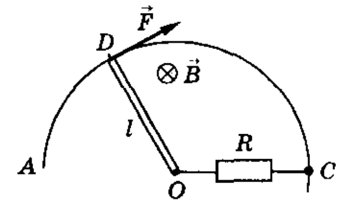


Рис. 13.83

13.266°. Непроводящее кольцо массой m и радиусом R, имеющее равномерно распределенный небольшой заряд q, может свободно вращаться вокруг своей оси. Кольцо помещено в перпендикулярное плоскости кольца магнитное поле, индукция которого в центральной области радиуса $l < R$ равна $2B$, а в остальном пространстве внутри кольца — B. Магнитное поле начинают равномерно уменьшать до нуля. Какую скорость приобретет кольцо после исчезновения магнитного поля, если в начальный момент оно покоилось?

Самоиндукция

13.267. Электромагнит с разомкнутым сердечником включен в цепь постоянного тока. Почему при замыкании сердечника якорем происходит кратковременное уменьшение силы тока в цепи?

13.268. Почему для получения большой индуктивности применяют торроидальную катушку?

13.269. Почему при отрыве бугеля трамвая от провода возникает искрение? Почему искрение незначительно, если трамвай движется с выключенным двигателем и ток поступает только в осветительную сеть вагона?

13.270. При электросварке применяют стабилизатор — катушку со стальным сердечником, включаемую последовательно с дугой. Почему такая катушка обеспечивает устойчивое горение дуги?

13.271. Найти индуктивность контура, в котором при силе тока $I = 10$ А возникает магнитный поток $\Phi = 0,5$ Вб.

13.272. Индуктивность контура $L = 0,2$ Гн. При какой силе тока в нем возникает магнитный поток $\Phi = 0,1$ Вб?

13.273. Индуктивность контура $L = 0,04$ Гн, сила тока в нем $I = 5$ А. Найти магнитный поток.

13.274. Индуктивность рамки $L = 40$ мГн. Чему равна средняя ЭДС самоиндукции $\mathscr{E}_c$, наведенная в рамке, если за время $\Delta t = 0,01$ с сила тока в рамке увеличилась на $\Delta I = 0,2$ А? На сколько при этом изменился магнитный поток, создаваемый током в рамке?

13.275. Определить индуктивность цепи, если при изменении силы тока в ней по закону $I = 1 - 0,2t$ в цепи возникает ЭДС самоиндукции $\mathscr{E}_c = 2,0 \cdot 10^{-2}$ В.

13.276. Индуктивность катушки $L = 2{,}0$ Гн, сила тока в ней $I = 1$ А. Найти ЭДС самоиндукции, которая возникает в катушке, если силу тока в ней равномерно уменьшить до нуля за время $t = 0{,}1$ с.

13.277. В катушке при изменении силы тока со скоростью $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 60$ А/с возникает ЭДС самоиндукции $\mathscr{E} = 30$ В. Найти индуктивность катушки.

13.278. Какой должна быть скорость изменения силы тока в катушке, индуктивность которой $L = 0{,}4$ Гн, чтобы ЭДС самоиндукции, возникающая в ней, была $\mathscr{E} = 4$ В?

13.279. Чему равна индуктивность катушки, если за время $\Delta t = 0{,}5$ с сила тока в цепи изменилась от $I_1 = 10$ А до $I_2 = 5$ А, а наведенная при этом ЭДС на концах катушки $\mathscr{E}_{is} = 25$ В?

13.280. Кольцо из сверхпроводящего материала помещено в однородное магнитное поле, индукция которого нарастает от нуля до B_0. Плоскость кольца перпендикулярна линиям индукции магнитного поля. Определить силу индукционного тока, возникающего в кольце. Радиус кольца r, индуктивность L.

13.281. Соленоид с индуктивностью $L = 4$ мГн содержит $N = 600$ витков. Определить магнитный поток, возникающий в соленоиде, если сила тока, протекающего по обмотке, $I = 12$ А.

13.282. Катушка, состоящая из $N = 1000$ витков, создает магнитный поток $\Phi = 3$ мВб, если сила тока в ней $I = 0{,}6$ А. Найти индуктивность катушки.

13.283. Сколько витков провода диаметром $d = 0{,}4$ мм с изоляцией ничтожной толщины нужно намотать на картонный цилиндр диаметром $D = 2$ см, чтобы получить однослойную катушку индуктивностью $L = 1$ мГн? Витки вплотную прилегают друг к другу.

13.284. Соленоид содержит $N = 1000$ витков. Площадь сечения сердечника $S = 10$ см^2, по обмотке течет ток, создающий поле с индукцией $B = 1{,}5$ Тл. Найти среднюю ЭДС самоиндукции, возникающую в соленоиде, если силу тока уменьшить до нуля за время $t = 500$ мкс.

13.285. В катушке с индуктивностью $L = 0{,}2$ Гн сила тока $I = 10$ А. Какова энергия магнитного поля этой катушки? Как изменится энергия поля, если сила тока увеличится вдвое?

13.286. По катушке протекает ток, создающий магнитное поле, энергия которого $W = 0{,}5$ Дж. Магнитный поток через катушку $\Phi = 0{,}1$ Вб. Найти силу тока.

13.287. Индуктивность катушки без сердечника $L = 0{,}1$ мГн. При какой силе тока энергия магнитного поля $W_м = 100$ мкДж?

13.288. Определить индуктивность соленоида, в котором при равномерном увеличении тока на $\Delta I = 2$ А энергия магнитного поля увеличивается на $\Delta W = 10^{-2}$ Дж. Средняя сила тока в цепи $I = 5$ А.

13.289. Соленоид имеет $N = 1000$ витков провода на длину $l = 0{,}5$ м. Площадь поперечного сечения соленоида $S = 10$ см^2. Определить магнитный поток внутри соленоида и энергию магнитного поля, если сила тока в соленоиде $I = 10$ А.

13.290. При изменении силы тока в соленоиде от $I_1 = 2{,}5$ А до $I_2 = 14{,}5$ А его магнитный поток увеличился на $\Delta\Phi = 2{,}4$ мВб. Соленоид имеет $N = 800$ витков. Найти среднюю ЭДС самоиндукции, которая возникает в нем, если изменение силы тока происходит в течение времени $\Delta t = 0{,}15$ с. Найти изменение энергии магнитного поля в соленоиде.

13.291. На катушке с сопротивлением $R = 8{,}2$ Ом и индуктивностью $L = 25$ мГн поддерживают постоянное напряжение $U = 55$ В. Определить энергию магнитного поля. Какое количество теплоты выделится в катушке при размыкании цепи?

13.292. В соленоиде при силе тока I энергия магнитного поля $W_м$. Сопротивление обмотки R. Какой электрический заряд q пройдет по обмотке при равномерном уменьшении силы тока I в n раз? На сколько изменится энергия магнитного поля?

13.293. К катушке индуктивностью $L = 0{,}25$ Гн приложена постоянная разность потенциалов $\Delta\varphi = 10$ В. На сколько возрастет сила тока в катушке за время $\Delta t = 1$ с? Сопротивлением катушки пренебречь.

13.294. Катушка сопротивлением $R = 20$ Ом и индуктивностью $L = 10^{-2}$ Гн находится в переменном магнитном поле. Когда создаваемый этим полем магнитный поток увеличивается на $\Delta\Phi = 10^{-3}$ Вб, сила тока в катушке возрастает на $\Delta I = 0{,}05$ А. Какой заряд проходит за это время по катушке?

13.295°. В некоторой цепи имеется участок, изображенный на рисунке 13.84. Сопротивление $R = 0{,}1$ Ом, индуктивность $L = 10^{-2}$ Гн, сила тока изменяется по закону $I = 2t$. Найти закон изменения разности потенциалов между точками A и B от времени. Найти разность потенциалов между точками A и B в момент времени $t = 1$ с.

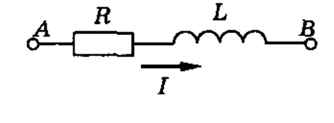


Рис. 13.84

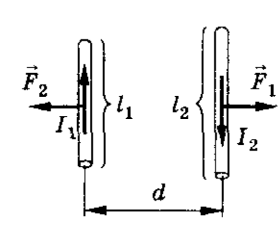
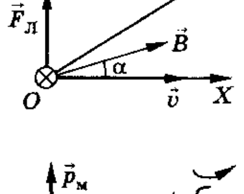
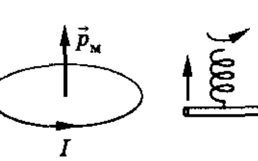
13.296. Найти объемную плотность энергии однородного магнитного поля в вакууме, если индукция магнитного поля $B = 6{,}28 \cdot 10^{-2}$ Тл. Чему равна энергия магнитного поля, сосредоточенного в объеме $V = 2$ м^3?

Электромагнетизм

Таблица 13

Формулы	Обозначения	Единицы измерения
Связь индукции и напряженности магнитного поля $B = \mu\mu_0 H$	B — индукция магнитного поля H — напряженность магнитного поля μ_0 — магнитная постоянная μ — относительная магнитная проницаемость среды	1 Тл 1 А/м $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м
Индукция магнитного поля: а) бесконечно длинного проводника $B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r}$;	I — сила тока r — расстояние от проводника	1 А 1 м
б) в центре кругового витка $B = \frac{\mu\mu_0 I}{2R}$;	R — радиус кругового витка	1 м
в) внутри бесконечно длинного соленоида $B = \mu\mu_0 nI$	n — число витков на единицу длины	1 $м^{-1}$
Принцип суперпозиции $\vec{B} = \sum_{i=1}^{n} \vec{B}_i$		

13. Магнетизм

Закон Ампера: а) в дифференциальной форме $dF = IB\sin\alpha\, dl$; б) для однородного магнитного поля $F = IBl\sin\alpha$;		F — сила l — длина проводника α — угол между током и магнитной индукцией	1 Н 1 м 1 рад = 57,3°
Сила взаимодействия двух параллельных проводников $f = \frac{F_1}{l_2} = \frac{F_2}{l_1} = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$		l — длина каждого проводника d — расстояние между проводниками	1 м 1 м
Сила Лоренца $F = qvB\sin\alpha$		v — скорость q — заряд частицы α — угол между скоростью и магнитным полем	1 м/с 1 Кл 1 рад = 57,3°
Магнитный момент контура с током $p_м = IS$		$p_м$ — магнитный момент S — площадь, охватываемая контуром	1 А · м^2 1 м^2

Окончание таблицы 13

Формулы	Обозначения	Единицы измерения
Механический момент, действующий на контур с током в магнитном поле $M = BIS\sin\alpha$ $p_м = IS$	α — угол между магнитным моментом и индукцией	1°
Магнитный поток $\Phi = BS\cos\alpha$	Φ — магнитный поток S — площадь, охватываемая контуром α — угол между нормалью к поверхности и индукцией	1 Вб 1 м² 1°
Работа магнитного поля по перемещению проводника с током $A = I(\Phi_2 - \Phi_1)$	A — работа	1 Дж
Закон Фарадея $\langle\mathscr{E}_i\rangle = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}; \mathscr{E}_i = -\dfrac{d\Phi}{dt}$	$\mathscr{E}_i$ — ЭДС индукции	1 В
Разность потенциалов, индуцируемая в движущемся проводнике $\Delta\varphi = Blv\sin\alpha$	Δφ — разность потенциалов l — длина проводника v — скорость движения α — угол между скоростью и индукцией	1 В 1 м 1 м/с 1°

Индуктивность контура $L = \frac{\Phi}{I}$		L — индуктивность	1 Гн
Закон Фарадея для самоиндукции $<\mathscr{E}_{ic}> = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}; \mathscr{E}_{ic} = -L\frac{dI}{dt}$			
Индуктивность длинного соленоида $L = \mu_0\mu\frac{N^2 S}{l}$		N — число витков соленоида S — площадь поперечного сечения соленоида l — длина соленоида	 1 м^2 1 м
Энергия магнитного поля: а) проводника с током $W = \frac{LI^2}{2}$; б) длинного соленоида $W = \frac{1}{2}\mu_0\mu n^2 I^2 V$		W — энергия магнитного поля V — объем n — число витков на единицу длины	1 Дж 1 м^3 м$^{-1}$
Объемная плотность энергии магнитного поля $w = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu\mu_0}$		w — объемная плотность энергии	1 Дж/м^3

14. Электромагнитные колебания и волны

Свободные колебания в электрическом контуре

14.1. От чего зависит период собственных незатухающих электромагнитных колебаний в контуре?

14.2. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $C = 1$ мкФ и катушки индуктивностью $L = 0{,}01$ Гн. Вычислить период колебаний в контуре. Можно ли возникшие колебания считать высокочастотными?

14.3. Колебательный контур состоит из лейденских банок общей электроемкостью $C = 6 \cdot 10^{-3}$ мкФ и катушки индуктивностью $L = 11$ мкГн. Вычислить частоту электромагнитных колебаний в контуре.

14.4. Катушку какой индуктивности надо включить в колебательный контур, чтобы с конденсатором емкостью $C = 2$ мкФ получить электромагнитные колебания частотой $\nu = 1000$ Гц?

14.5. Какой емкости конденсатор нужно включить в колебательный контур с катушкой индуктивности $L = 0{,}76$ Гн, чтобы получить в нем электрические колебания звуковой частоты $\nu = 400$ Гц?

14.6. Во сколько раз изменится период и частота свободных незатухающих колебаний в контуре, если его индуктивность увеличить в 2 раза, а емкость — в 4 раза?

14.7. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $L = 2{,}5 \cdot 10^{-6}$ Гн и двух конденсаторов, соединенных между собой параллельно, емкостью $C = 5 \cdot 10^{-3}$ мкФ каждый. Определить период электрических колебаний в контуре.

14.8. В колебательном контуре частота собственных колебаний $\nu_1 = 30$ кГц, при замене конденсатора частота стала $\nu_2 = 40$ кГц. Какой будет частота колебаний в контуре: а) при параллельном соединении обоих конденсаторов; б) при последовательном соединении?

14.9. Колебательный контур состоит из воздушного конденсатора, площадь каждой пластины которого $S = 100$ см^2, и катушки индуктивностью $L = 10^{-5}$ Гн. Период колебаний в контуре $T = 10^{-7}$ с. Определить расстояние между пластинами конденсатора.

14.10. Найти частоту собственных колебаний в контуре, состоящем из соленоида длиной l = 3 см, площадью поперечного сечения S_1 = 1 см^2 и плоского воздушного конденсатора, площадь пластин которого S_2 = 30 см^2 и расстояние между ними d = 0,1 см. Число витков соленоида N = 1000.

14.11. Начальный заряд, сообщенный конденсатору колебательного контура, уменьшили в 2 раза. Во сколько раз изменилась: а) амплитуда напряжения; б) амплитуда силы тока; в) суммарная энергия электрического поля конденсатора и магнитного поля катушки?

14.12. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью L = 0,5 Гн и конденсатора емкостью C = 0,5 мкФ. Конденсатору сообщили заряд $Q = 2{,}5 \cdot 10^{-6}$ Кл. Найти зависимость напряжения u на обкладках конденсатора, силы тока i в цепи, энергии электрического поля $W_э$ конденсатора и энергии магнитного поля $W_м$ катушки от времени. Сопротивлением катушки и проводов пренебречь.

14.13*. Начертить графики двух гармонических колебаний с одинаковыми амплитудами и одинаковыми периодами, но сдвинутыми по фазе на $\frac{\pi}{2}$ возможными графическими способами.

14.14. В колебательном контуре зависимость напряжения на обкладках конденсатора от времени представлена уравнением: $u = 10\cos(2 \cdot 10^3 \pi t)$. Емкость конденсатора $C = 2{,}6 \cdot 10^{-8}$ Ф. Определить период электромагнитных колебаний, индуктивность контура, зависимость силы тока от времени, максимальную энергию электрического поля и магнитного поля в контуре.

14.15. В колебательном контуре сила тока с течением времени изменяется по закону $i = 0{,}01\cos 1000t$. Емкость конденсатора в контуре C = 10 мкФ. Найти индуктивность контура и максимальное напряжение на обкладках конденсатора.

14.16. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью L = 0,2 Гн и конденсатора емкостью $C = 10^{-5}$ Ф. Конденсатор зарядили до напряжения U = 2 В, и он начал разряжаться. Какой будет сила тока в тот момент, когда энергия окажется поровну распределенной между электрическим и магнитным полем?

14.17. В колебательном контуре происходят свободные колебания. Зная, что максимальный заряд конденсатора $q_m = 10^{-6}$ Кл, а максимальная сила тока I_m = 10 А, найти частоту колебаний этого контура.

14.18. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $C = 400$ пФ и катушки индуктивностью $L = 10$ мГн. Найти амплитуду колебаний напряжения, если амплитуда колебаний силы тока $I_m = 0{,}1$ А.

14.19. В контуре с индуктивностью L и емкостью C совершаются свободные незатухающие колебания. Зная, что максимальное напряжение на конденсаторе U_m, найти максимальную силу тока I_m в этом контуре.

14.20. Колебательный контур составлен из дросселя с индуктивностью $L = 0{,}2$ Гн и конденсатора емкостью $C = 10^{-5}$ Ф. В момент, когда напряжение на конденсаторе $u = 1$ В, сила тока в контуре $i = 0{,}01$ А. Найти максимальную силу тока в этом контуре.

14.21. Амплитуда силы тока в контуре $I_m = 1{,}4$ А, а амплитуда напряжения $U = 280$ В. Найти силу тока и напряжение в тот момент времени, когда энергия магнитного поля катушки равна энергии электрического поля конденсатора.

14.22. Катушка индуктивностью $L = 31$ мГн присоединена к плоскому конденсатору с площадью каждой пластины $S = 20$ см^2 и расстоянием между ними $d = 1$ см. Чему равна диэлектрическая проницаемость среды ε, заполняющей пространство между пластинами, если амплитуда силы тока $I_m = 0{,}2$ мА, а амплитуда напряжения $U_m = 10$ В?

14.23. *Конденсатору емкостью* $C = 10^{-8}$ Ф *колебательного контура* был сообщен заряд $q_m = 10^{-4}$ Кл. В контуре начались свободные затухающие колебания. Найти количество теплоты, которое выделится в контуре к моменту, когда колебания полностью прекратятся.

14.24. Колебательный контур, собственная частота колебаний в котором $\nu = 1$ МГц, имеет индуктивность $L = 0{,}2$ Гн и омическое сопротивление[1] $R = 2$ Ом. На сколько процентов уменьшится энергия этого контура за время одного полного колебания? На протяжении одного колебания можно считать, что амплитуда силы тока меняется очень мало.

14.25. Контур состоит из катушки индуктивностью $L = 24$ мкГн, сопротивления $R = 1$ Ом и конденсатора емкостью $C = 2222$ пФ. Какую мощность P должен потреблять контур, чтобы в нем поддерживались незатухающие колебания, при которых максимальное напряжение на конденсаторе $U_m = 5$ В?

14.26. Максимальное напряжение в колебательном контуре, состоящем из катушки индуктивностью $L = 5$ мкГн и конденсатора емкостью $C = 13\,330$ пФ, $U_m = 1{,}2$ В. Сопротивление контура ничтожно мало. Опре-

---

[1] Омическое сопротивление — сопротивление проводника постоянному току.

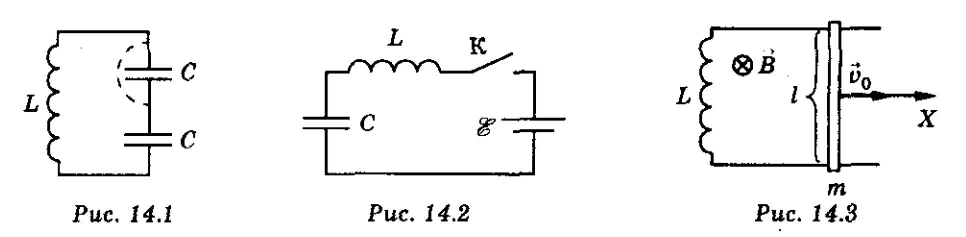


Рис. 14.1 Рис. 14.2 Рис. 14.3

делить: а) действующее значение силы тока в контуре; б) максимальное значение магнитного потока, если число витков катушки $N = 28$.

14.27. Батарея из двух последовательно соединенных конденсаторов, емкостью C каждый, заряжена до напряжения U_m и в начальный момент времени ($t_0 = 0$) подключена к катушке индуктивностью L так, что образовался колебательный контур (рис. 14.1). Спустя некоторое время Δt один из конденсаторов пробивается и сопротивление между его обкладками становится равным нулю. Найти амплитуду заряда на непробитом конденсаторе.

14.28*. Какова средняя сила взаимодействия пластин конденсатора C сразу после замыкания ключа К (рис. 14.2)? после затухания колебаний? Расстояние между пластинами конденсатора d.

14.29*. Контур образован двумя параллельными проводниками, замыкающим их соленоидом индуктивностью L и проводящим стержнем массой m, который может без трения скользить по проводникам. Проводники расположены в горизонтальной плоскости, в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией B (рис. 14.3). Расстояние между проводниками — l. В начальный момент времени ($t = 0$) стержню сообщили скорость v_0. Записать закон движения проводника $x(t)$. Сопротивление контура пренебрежимо мало.

Вынужденные колебания. Переменный ток

14.30. Циклическая частота переменного тока $\omega = 100\pi$ рад/с. Определить период и частоту переменного тока.

14.31. Частоту вращения проволочной рамки в однородном магнитном поле увеличили в 3 раза. Во сколько раз изменится частота переменного тока в рамке и ЭДС индукции?

14.32. Амплитудное значение ЭДС при вращении витка в магнитном поле $\mathscr{E}_m = 20$ В. Определить мгновенные значения ЭДС через промежутки времени t, равные $\frac{1}{12}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ периода. Начальная ЭДС равна нулю.

Электромагнетизм

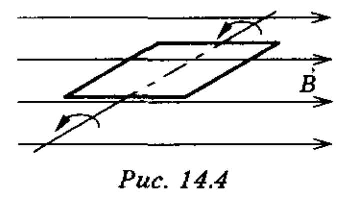


Рис. 14.4

14.33. Прямоугольная рамка площадью $S = 400$ см^2 вращается с угловой скоростью $n = 3000$ об/мин в магнитном поле, индукция которого $B = 0{,}5$ Тл. Определить период и максимальное значение ЭДС в рамке, если ось вращения перпендикулярна полю (рис. 14.4).

14.34. Мгновенное значение ЭДС задано выражением $e = 100\sin 800\pi t$. Найти амплитуду, частоту, период, фазу и начальную фазу колебаний.

14.35. Круговой контур радиусом R вращается с угловой скоростью ω в однородном магнитном поле с индукцией B. Найти закон изменения со временем ЭДС индукции, возникающей в контуре, если: а) ось вращения находится в плоскости контура, проходит через его центр и совпадает по направлению с вектором $\vec{B}$; б) ось вращения находится в плоскости контура, проходит через его центр и перпендикулярна вектору $\vec{B}$.

14.36. График зависимости ЭДС от времени при равномерном вращении рамки вокруг оси, перпендикулярной магнитному полю, можно представить синусоидой. Как изменится график, если скорость вращения увеличить вдвое?

14.37. При вращении проволочной рамки в однородном магнитном поле поток, пронизывающий рамку, изменяется со временем по закону $\Phi = 0{,}01\cos 10\pi t$. В каком положении была рамка в начальный момент времени? Чему равно максимальное значение потока магнитной индукции? Определить зависимость возникающей при этом ЭДС от времени.

14.38. Сколько витков имеет рамка площадью $S = 500$ см^2, если при вращении ее с частотой $\nu = 20$ Гц в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл, амплитудное значение ЭДС индукции $\mathscr{E} = 63$ В?

14.39. *Рамка площадью $S = 400$ см^2 имеет $N = 100$ витков и вращается* в магнитном поле с индукцией $B = 10^{-2}$ Тл. Период ее вращения $T = 0{,}1$ с, ось вращения перпендикулярна силовым линиям. Определить максимальное значение ЭДС индукции, возникающей в рамке.

14.40. Рамка площадью $S = 300$ см^2 имеет $N = 200$ витков и вращается в однородном магнитном поле с индукцией $B = 1{,}5 \cdot 10^{-2}$ Тл. Определить период ее вращения, если максимальная ЭДС индукции $\mathscr{E}_m = 14{,}4$ В. Ось вращения рамки перпендикулярна силовым линиям магнитного поля.

14.41. Рамка площадью $S = 300$ см^2 имеет $N = 200$ витков и находится в магнитном поле с индукцией $B = 1{,}5 \cdot 10^{-2}$ Тл. Из нейтрального положения[1] рамка начинает вращаться вокруг оси, перпендикулярной сило-

---
[1] В нейтральном положении нормаль к рамке совпадает с направлением $\vec{B}$.

вым линиям, так, что амплитудное значение ЭДС индукции $\mathscr{E}_m = 7{,}2$ В. Определить ЭДС индукции через время $t = 0{,}01$ с после начала вращения рамки.

14.42. Квадратная рамка площадью $S = 625$ см^2 с замкнутой обмоткой из медного провода вращается в однородном магнитном поле с индукцией $B = 10^{-2}$ Тл вокруг оси, лежащей в плоскости рамки, перпендикулярной полю, совершая $n = 1200$ об/мин. Определить, пренебрегая теплопередачей, изменение температуры обмотки за время $t = 1$ мин.

14.43. Генератор переменного тока имеет на роторе шесть пар полюсов ($k = 6$). Какой должна быть частота вращения ротора, чтобы генератор вырабатывал ток стандартной частоты $\nu = 50$ Гц?

14.44. Напряжение на концах участка цепи, по которому течет переменный ток, изменяется с течением времени по закону $u = U_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$. В момент времени $t = \frac{T}{12}$ напряжение $u = 10$ В. Найти амплитуду напряжения, циклическую частоту, частоту тока, если период колебаний $T = 0{,}01$ с.

14.45. Электродвижущая сила синусоидального тока для фазы $\varphi = 30°$ равна $e = 120$ В. Найти амплитудное и эффективное значения электродвижущей силы.

14.46. Сила тока в цепи изменяется со временем по закону $i = 8{,}5\sin(314t + 0{,}651)$. Определить действующее значение силы тока, его начальную фазу и частоту. Чему будет равна сила тока в цепи в момент времени $t_1 = 0{,}08$ с; $t_2 = 0{,}042$ с?

14.47. Определить действующие значения силы тока и напряжений, зависимость от времени которых показана на рисунке 14.5.

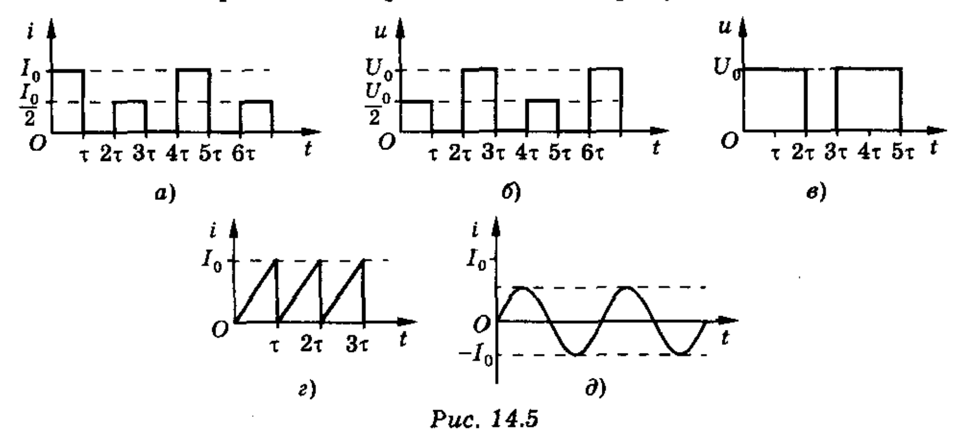


Рис. 14.5

14.48. Сила тока в проводнике меняется со временем так, как показано на рисунке 14.6, $I_0 \tau$ неизвестны, но известно эффективное значение силы тока $I = 2$ А. Какой электрический заряд проходит через поперечное сечение проводника за один час?

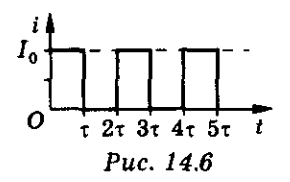


Рис. 14.6

14.49. На какое напряжение рассчитаны изоляторы линии электропередачи, если действующее напряжение $U = 430$ кВ?

14.50. Тепловой вольтметр, включенный в цепь переменного тока, показывает $U = 220$ В. Найти максимальное напряжение в цепи.

14.51. Неоновая лампа начинает светиться, когда напряжение на ее электродах достигает строго определенного значения. Какую часть периода будет светить лампа, если ее включить в сеть, действующее напряжение в которой равно этому напряжению?

14.52. Действующее напряжение в сети переменного тока $U = 120$ В. Определить время, в течение которого горит неоновая лампа, в каждый период, если лампа зажигается и гаснет при напряжении $U_л = 84$ В.

14.53. К генератору переменного тока подключили электропечь с сопротивлением $R = 220$ Ом. Найти количество теплоты, выделяемое печью за время $t = 1$ ч, если амплитуда силы тока $I_m = 10$ А.

14.54. Определить период и частоту переменного тока, если конденсатор емкости $C = 1$ мкФ представляет для него сопротивление $X_C = 16$ Ом.

14.55. К городской сети переменного тока с эффективным напряжением $U = 127$ В присоединена цепь, состоящая из последовательно включенных активного сопротивления $R = 199$ Ом и конденсатора емкостью $C = 40$ мкФ. Определить амплитуду силы тока в цепи.

14.56. В сеть с напряжением $U = 127$ В включили лампочку от карманного фонаря и конденсатор (рис. 14.7). Какой должна быть емкость конденсатора, чтобы лампочка горела нормальным накалом? Лампочка от карманного фонаря рассчитана на напряжение $U_л = 3{,}5$ В и силу тока $I_л = 0{,}28$ А.

14.57. Схема с идеальным диодом включена в цепь переменного тока (рис. 14.8). Определить пределы изменения напряжения между анодом А и катодом К.

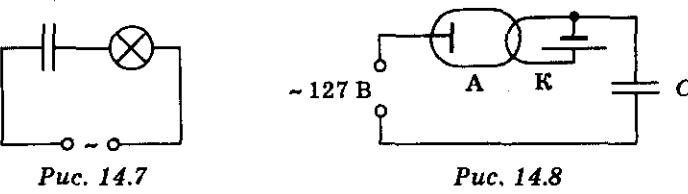


Рис. 14.7 *Рис. 14.8*

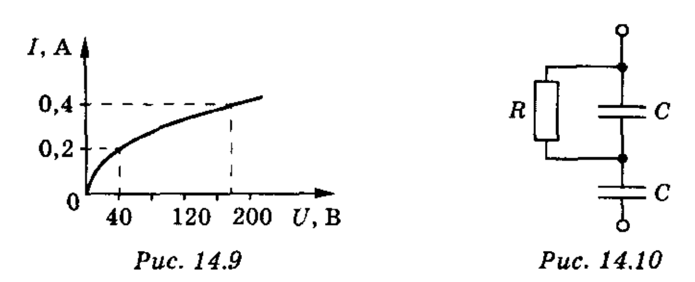


Рис. 14.9 *Рис. 14.10*

14.58*. На рисунке 14.9 показана вольт-амперная характеристика лампы накаливания, номинальное напряжение которой $U_н = 220$ В, а номинальная мощность $P = 100$ Вт. Лампу включают в сеть переменного тока ($U = 220$ В, $\nu = 50$ Гц) последовательно с конденсатором емкостью $C = 10$ мкФ. Определить силу тока в лампе и напряжение на ней. Считать, что температура нити практически не меняется в течение сетевого периода.

14.59. В сеть переменного тока с напряжением $U = 220$ В и частотой $\nu = 50$ Гц последовательно подключены два конденсатора, емкостью $C = 1$ мкФ каждый. Параллельно одному из конденсаторов включен резистор сопротивлением $R = 100$ Ом (рис. 14.10). Найти тепловую мощность, выделяемую в цепи.

14.60. Найти индуктивность катушки, если амплитуда переменного напряжения на ее концах $U_m = 157$ В, амплитуда силы тока $I_m = 5$ А и частота тока $\nu = 50$ Гц. Активным сопротивлением катушки можно пренебречь.

14.61. Определить индуктивное сопротивление катушки X_L, если ее индуктивность $L = 4$ Гн, а частота переменного тока $\nu = 1000$ Гц.

14.62. По участку цепи *ABC* (рис. 14.11) протекает синусоидальный ток. На участке *AB* эффективное напряжение $U_{AB} = 30$ В, а на участке *BC* — $U_{BC} = 40$ В. Найти эффективное напряжение на участке *AC*.

A B C

Рис. 14.11

14.63. На участке *AC* (рис. 14.11) сдвиг фаз между током и напряжением $\varphi_1 = 40°$. Как изменится эта величина, если частота тока станет вдвое больше?

14.64. Напряжение и сила тока в катушке изменяются со временем по закону: $u = 60\sin(314t + 0{,}25)$ и $i = 15\sin 314t$. Определить разность фаз этих величин. Чему будут равны сила тока и напряжение на катушке в момент времени $t_1 = 1{,}2 \cdot 10^{-2}$ с?

14.65. Соленоид с железным сердечником (дроссель) с индуктивностью $L = 2$ Гн и сопротивлением $R = 10$ Ом включен в сеть постоянного тока с напряжением $U = 20$ В, а затем в сеть переменного тока с эффективным напряжением $U = 20$ В и частотой $\nu = 0{,}4$ кГц. Найти силу тока, проходящего через соленоид в первом случае и амплитуду силы тока во втором случае.

14.66. Измерив сопротивление катушки, включенной в сеть переменного тока, определили, что оно равно $R_1 = 110$ Ом. Когда затем измерили сопротивление такой же катушки, но из провода с вдвое большим удельным сопротивлением, то оно оказалось $R_2 = 140$ Ом (катушка включалась в ту же сеть). Каково омическое сопротивление первой катушки?

14.67. Если напряжение $U = 100$ В подать между точками A и B (рис. 14.12), то в цепи сила тока $I = 1$ А и сдвиг фаз между током и напряжением составит $\Delta\varphi_1 = 10°$. Если то же напряжение подать между точками B и C, то $I_2 = 5$ А и $\Delta\varphi_2 = 50°$. Какой будет сила тока I_{AC} в цепи, если это же напряжение подать между точками A и C?

A B C

Рис. 14.12

14.68. Как можно избежать аварии, связанной с перегоранием обмотки сверхпроводящего соленоида?

14.69*. Для подзарядки аккумулятора с ЭДС $\mathscr{E} = 12$ В от мощного источника напряжения $U = 5$ В собрана схема из катушки с индуктивностью $L = 1$ Гн, диода и прерывателя К (рис. 14.13), который периодически замыкается и размыкается через одинаковые промежутки времени $t_1 = t_2 = 0{,}01$ с. Определить среднюю силу тока зарядки аккумулятора.

14.70. Сила тока в первом проводнике меняется по закону $i_1 = 3\sin\omega t$, а во втором — $i_2 = 4\cos\omega t$ (рис. 14.14). Найти амплитуду силы тока I_{3m}.

14.71. Конденсатор неизвестной емкости, катушка индуктивности L и резистор сопротивлением R подключены к источнику переменного напряжения $e = \mathscr{E}_m\cos\omega t$ (рис. 14.15). Сила тока в цепи изменяется с течением времени по закону $i = \frac{\mathscr{E}_m}{R}\cos\omega t$. Определить амплитуду напряжения на обкладках конденсатора.

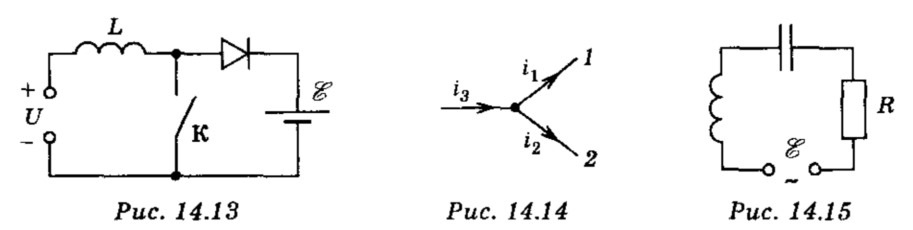


Рис. 14.13 *Рис. 14.14* *Рис. 14.15*

14.72*. Найти сдвиг фаз между силой тока и напряжением для цепи, состоящей из последовательно включенных резистора сопротивлением R = 1 кОм, катушки индуктивностью L = 0,5 Гн и конденсатора емкостью C = 1 мкФ. Найти мощность, выделяемую в цепи, если амплитуда напряжения U_m = 100 В, а частота тока ν = 50 Гц.

14.73*. К источнику переменного напряжения $u = 300\sin 200\pi t$ подключены последовательно катушка индуктивностью L = 0,5 Гн, конденсатор емкостью C = 10 мкФ, активное сопротивление R = 100 Ом. Определить амплитудное значение силы тока, сдвиг фаз между током и напряжением, коэффициент мощности и потребляемую мощность.

14.74*. К участку цепи подвели переменный ток. Эффективное напряжение при этом U, омическое сопротивление участка R, а сдвиг фаз между током и напряжением φ. Найти мощность тока P.

14.75. В цепь последовательно включены резистор сопротивлением R = 1 кОм, катушка индуктивностью L = 0,5 Гн и конденсатор емкостью C = 1 мкФ. Найти индуктивное сопротивление x_L, емкостное сопротивление x_C и полное сопротивление при частотах ν_1 = 50 Гц и ν_2 = 10 кГц.

14.76. В цепи (рис. 14.16) R = 20 Ом, L = 0,2 Гн, C = 100 мкФ, эффективное напряжение U = 75 В и частота ν = 50 Гц. Найти эффективную силу тока и разность фаз между напряжением и током. Определить эффективное напряжение на каждом участке и мощность тока в цепи.

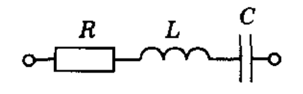


Рис. 14.16

14.77. Цепь переменного тока (рис. 14.16) состоит из трех последовательно соединенных сопротивлений. Может ли одновременное увеличение каждого из них привести к уменьшению общего сопротивления?

14.78*. При включении катушки в цепь постоянного тока с напряжением U_1 = 12 В амперметр показал силу тока I_1 = 4 А. При включении той же катушки в цепь переменного тока с частотой ν = 50 Гц и напряжением U_2 = 12 В амперметр показал I_2 = 2,4 А. Определить индуктивность катушки. Чему будет равна активная мощность тока в цепи, если последовательно с катушкой включить конденсатор емкостью C = 394 мкФ? Нарисовать векторную диаграмму для этого случая.

14.79. Доказать, что собственные колебания в контуре происходят с частотой, при которой индуктивное сопротивление катушки равно емкостному сопротивлению конденсатора.

14.80. В колебательный контур с индуктивностью L, емкостью C и сопротивлением R последовательно включен источник синусоидального тока, амплитуда ЭДС которого $\mathscr{E}_m$. Затем, меняя частоту источника,

добились того, что амплитуда силы тока стала максимальной. Найти ее значение.

14.81. По участку *ABC* (рис. 14.17) протекает синусоидальный ток. Индуктивность катушки $L = 0{,}25$ Гн, емкость конденсатора $C = 100$ мкФ, омическим сопротивлением этого участка можно пренебречь. При каком значении циклической частоты сопротивление этого участка будет равно нулю?

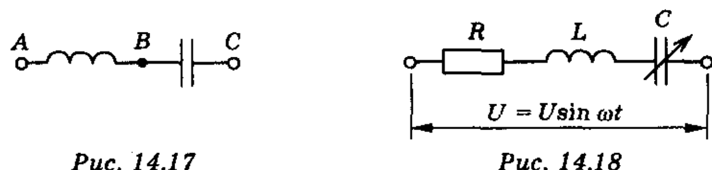


Рис. 14.17 *Рис. 14.18*

14.82. В сеть переменного тока с эффективным напряжением $U = 110$ В и частотой $\nu = 100$ Гц последовательно включены конденсатор емкостью $C = 5 \cdot 10^{-5}$ Ф, катушка индуктивностью $L = 0{,}2$ Гн и омическое сопротивление $R = 4$ Ом. Определить: а) эффективную силу тока в цепи; б) частоту тока, при которой в данном контуре наступит резонанс напряжений (резонансную частоту); в) силу тока в цепи и напряжение на зажимах катушки и на пластинах конденсатора при резонансе напряжений.

14.83. В цепи (рис. 14.18) емкость *C* может изменяться, а остальные параметры цепи неизменны. При каком значении емкости *C* мощность протекающего тока будет максимальной? Какова эта мощность?

14.84. Цепь, находящаяся под напряжением $U = 120$ В, состоит из последовательно соединенных активного сопротивления $R = 6$ Ом и реактивных $X_L = X_C = 10$ Ом. Найти силу тока в цепи и напряжение на каждом сопротивлении.

14.85*. В цепь переменного тока частотой $\nu = 50$ Гц последовательно включены резистор $R = 628$ Ом и катушка индуктивности. При этом между колебаниями напряжения и силы тока наблюдается сдвиг фазы на $\varphi = \frac{\pi}{4}$. Какова индуктивность катушки? Какую емкость нужно включить в цепь, чтобы сдвиг фазы между силой тока и напряжением стал равен нулю?

14.86. Резонанс в последовательном колебательном контуре (рис. 14.19), содержащем конденсатор емкостью $C_0 = 1$ мкФ, наступает при частоте $\nu_1 = 400$ Гц. Если параллельно конденсатору емкостью C_0 подключить конденсатор емкостью *C*, то резонансная частота становится $\nu_2 = 100$ Гц. Найти емкость конденсатора *C*.

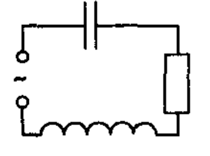


Рис. 14.19

14.87. Решить предыдущую задачу, считая, что циклическая частота $\omega = 1000$ с$^{-1}$. Как следует понимать получившийся ответ?

14.88. Под действием постоянного напряжения конденсатор емкостью $C = 10^{-11}$ Ф, входящий в схему, показанную на рисунке 14.19, получает заряд $q = 10^{-5}$ Кл. Индуктивность катушки $L = 10$ Гн, сопротивление резистора $R = 100$ Ом. Определить амплитуду установившихся колебаний заряда при резонансе, если амплитуда внешнего синусоидального напряжения $U_m = U$.

14.89. В цепь переменного тока с частотой $\nu = 50$ Гц и напряжением $U = 220$ В включены последовательно конденсатор, активное сопротивление $R = 100$ Ом и катушка индуктивностью $L = 0{,}7$ Гн. Определить емкость конденсатора, если сила тока в цепи $I = 1{,}34$ А. Рассчитать емкость конденсатора, при которой возникает резонанс напряжений. Определить силу тока в цепи при резонансе.

14.90*. Найти мощность, теряемую в проводах, идущих от электростанции к потребителю, при следующих данных: полная мощность тока $P = 100$ кВт, эффективное напряжение станции $U = 220$ В, сопротивление проводов $R = 0{,}05$ Ом, сдвиг фаз между силой тока и напряжением $\varphi = 30°$.

Трансформатор

14.91. Что произойдет, если трансформатор включить в цепь постоянного тока того же напряжения, на которое он рассчитан?

14.92. Почему наличие очень высокого напряжения во вторичной обмотке повышающего трансформатора не приводит к большим потерям энергии в самой обмотке?

14.93. Почему при увеличении нагрузки (уменьшении сопротивления) во вторичной цепи трансформатора возрастает потребляемая мощность?

14.94. Трансформатор понижает напряжение от значения $U_1 = 2{,}2 \cdot 10^4$ В до значения $U_2 = 110$ В. Во вторичной его обмотке $N_2 = 110$ витков. Сколько витков содержится в его первичной обмотке?

14.95. Первичная обмотка трансформатора содержит $N_1 = 100$ витков, а вторичная $N_2 = 1000$. Напряжение на первичной обмотке $U_1 = 120$ В. Какое будет напряжение на вторичной обмотке при холостом ходе трансформатора? Повышает ли напряжение этот трансформатор, и если да, то во сколько раз?

14.96. Обмотки трансформатора содержат $N_1 = 1000$ витков и $N_2 = 2000$ витков и намотаны на сердечник с большой магнитной проницаемостью. Обмотки соединили параллельно и подключили последовательно с резистором $R = 1000$ Ом к сети переменного напряжения 220 В. Найти силу тока в каждой обмотке трансформатора.

14.97. Одна обмотка понижающего трансформатора имеет N витков, другая — один виток. Трансформатор подключен к источнику переменного тока с ЭДС $\mathscr{E}$. К выходному витку подсоединен гальванометр с внутренним сопротивлением r так, что подсоединения *1* и *2* делят виток на участки с сопротивлениями R_1 и R_2, как показано на рисунке 14.20. Какую силу тока покажет гальванометр? Рассеянием магнитного потока пренебречь.

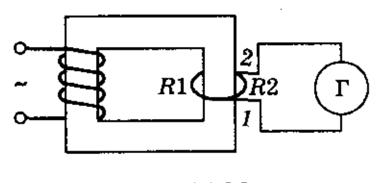


Рис. 14.20

14.98. Первичная обмотка понижающего трансформатора с коэффициентом трансформации $K = 8$ включена в сеть с напряжением $U_1 = 220$ В. Сопротивление вторичной обмотки $R_2 = 2$ Ом, сила тока в ней $I_2 = 3$ А. Определить напряжение на зажимах вторичной обмотки. Потерями в первичной обмотке пренебречь.

14.99. Сила тока и напряжение в первичной обмотке трансформатора $I_1 = 10$ А и $U_1 = 110$ В, напряжение во вторичной обмотке $U_2 = 11\,000$ В. Чему равна сила тока во вторичной обмотке трансформатора?

14.100. Первичная обмотка трансформатора для питания цепи радиоприемника имеет $N_1 = 12\,000$ витков и включена в сеть переменного тока с напряжением $U_1 = 120$ В. Какое число витков должна иметь вторичная обмотка, если ее сопротивление $R_2 = 0{,}5$ Ом? Напряжение в цепи радиоприемника $U_2 = 3{,}5$ В при силе тока $I = 1$ А.

14.101. Первичная обмотка понижающего трансформатора включена в сеть переменного тока с напряжением $U_1 = 220$ В. Напряжение на зажимах вторичной обмотки $U_2 = 20$ В, ее сопротивление $R_2 = 1$ Ом; сила тока в ней $I = 2$ А. Найти коэффициент трансформации и КПД трансформатора.

14.102. Сила тока в первичной обмотке трансформатора $I_1 = 0{,}5$ А, напряжение на ее концах $U_1 = 220$ В. Сила тока во вторичной обмотке трансформатора $I_2 = 11$ А, напряжение на ее концах $U_2 = 9{,}5$ В. Найти КПД трансформатора.

14.103. Первичная обмотка понижающего трансформатора с коэффициентом трансформации $K = 10$ включена в сеть переменного тока с

напряжением U_1 = 120 В. Сопротивление вторичной обмотки R_2 = 1,2 Ом, сила тока в ней I = 5 А. Найти сопротивление нагрузки трансформатора и напряжение на зажимах вторичной обмотки.

14.104. Трансформатор повышает напряжение от значения U_1 = 220 В до значения U_2 = 660 В и содержит в первичной обмотке N_1 = 840 витков. Каков коэффициент трансформации? Сколько витков N_2 содержит вторичная обмотка? В какой обмотке провод большего сечения?

14.105. Понижающий трансформатор с коэффициентом трансформации K = 10 включен в сеть с напряжением U_1 = 220 В. Каково напряжение U_2 на выходе трансформатора, если сопротивление вторичной обмотки R_2 = 0,2 Ом, а сопротивление полезной нагрузки R = 2 Ом?

14.106. Трансформатор включен в сеть (рис. 14.21). Как изменятся показания приборов при уменьшении полезной нагрузки (уменьшении сопротивления R)?

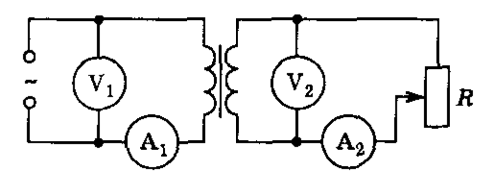


Рис. 14.21

14.107. Вторичная обмотка трансформатора, имеющая N = 100 витков, пронизывается магнитным потоком, изменяющимся со временем по закону $\Phi = 0{,}01\cos 314t$. Написать зависимость ЭДС вторичной обмотки от времени, найти действующее значение ЭДС.

14.108. В пункте A установлен повышающий трансформатор, в пункте B — понижающий. Сопротивление соединяющей их линии r = 15 Ом. Коэффициент трансформации понижающего трансформатора K = 10, в цепи его вторичной обмотки потребляется мощность P = 9,5 кВт при силе тока I_2 = 80 А. Определить напряжение на вторичной обмотке повышающего трансформатора.

14.109. Сила тока холостого хода в первичной обмотке трансформатора, питаемой от сети переменного тока с частотой ν = 50 Гц и напряжением U = 220 В, равна I = 0,2 А. Электрическое сопротивление первичной обмотки R_1 = 100 Ом. Определить индуктивность первичной обмотки трансформатора.

14.110. Почему при разомкнутой вторичной цепи (при так называемом холостом ходе) трансформатор почти не потребляет энергии?

14- 1695

14.111. Почему при увеличении нагрузки во вторичной цепи (уменьшении сопротивления) автоматически возрастает потребляемая трансформатором мощность от сети?

14.112*. Напряжение на первичной обмотке трансформатора $U_1 = 120$ В и сила тока в ней $I_1 = 0,5$ А. Ко вторичной обмотке подсоединена лампа, сила тока в которой $I_2 = 3$ А, а напряжение на ней $U_2 = 10$ В. Коэффициент полезного действия трансформатора $\eta = 0,7$. Найти сдвиг фазы между силой тока и напряжением в первичной обмотке.

Электромагнитные волны

14.113. Почему устойчивый прием телевизионных передач возможен только в пределах прямой видимости?

14.114. Почему затруднена радиосвязь на коротких волнах в горной местности?

14.115. Какие вещества лучше отражают электромагнитные волны: металлы или диэлектрики?

14.116. Почему радиоприемник в автомобиле плохо работает, когда он проезжает под мостом или эстакадой?

14.117. Почему нельзя осуществлять радиосвязь с помощью электромагнитных волн с подводной лодкой, когда она находится под водой?

14.118. Что такое электрический резонанс и при каком условии он возможен?

14.119. В каком случае электромагнитная волна передает максимум энергии расположенному на ее пути колебательному контуру?

14.120. Почему увеличение дальности радиосвязи с космическими кораблями в 2 раза требует увеличение мощности радиопередатчика в 4 раза?

14.121. Почему затруднена радиосвязь между подводными лодками, находящимися под водой?

14.122. Какой частоте соответствует длина волны в 800 мкм?

14.123. На рисунке 14.22 дан график *распределения напряженности электрического* поля электромагнитной волны по заданному направлению (лучу) в данный момент времени. Найти частоту колебаний.

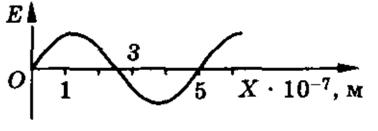


Рис. 14.22

14.124. На рисунке 14.23 дан график зависимости напряженности электрического поля от времени в данной точке пространства. Найти частоту и длину волны.

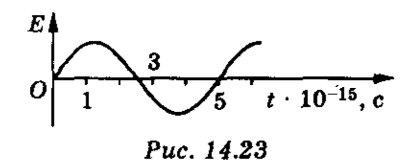


Рис. 14.23

14.125. Сколько колебаний происходит в электромагнитной волне с длиной волны $\lambda = 30$ м в течение одного периода звуковых колебаний с частотой $\nu = 200$ Гц?

14.126. На какой частоте суда передают сигнал бедствия SOS, если по международному соглашению длина волны должна быть $\lambda = 600$ м?

14.127. Чему равна длина волн, посылаемых радиопередатчиком, работающим на частоте $\nu = 1{,}4$ МГц?

14.128. В 1897 г. русский физик П. Н. Лебедев получил электромагнитное излучение с длиной волны 6 мм. Вычислить период и частоту таких волн.

14.129. Определить длину волны, на которой работает передатчик искусственного спутника, если частота колебаний $\nu = 20$ МГц.

14.130. Электромагнитные волны распространяются в некоторой среде со скоростью $\upsilon = 2 \cdot 10^8$ м/с. Какую длину волны имеют электромагнитные колебания в этой среде, если их частота в вакууме $\nu_0 = 1$ МГц? Какова длина волн этих колебаний в вакууме?

14.131. По рисунку 14.24 определить направление распространения электромагнитной волны.

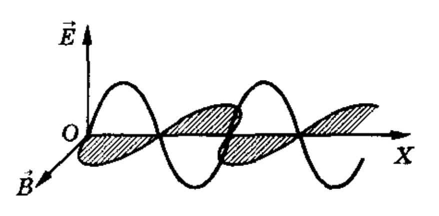


Рис. 14.24

14.132. Можно ли выбрать систему отсчета, в которой бы обнаруживалась: а) только электрическая составляющая $\vec{E}$ электромагнитного поля электронного луча; б) только магнитная составляющая $\vec{B}$?

14.133. Имеется два источника когерентных волн. Каков результат интерференции на прямой, перпендикулярной отрезку, соединяющему источники и проходящему через его середину, если источники колеблются синфазно; противофазно?

14.134. Разность хода двух когерентных волн с одинаковыми амплитудами равна $\Delta x = 8$ см, а длина волны $\lambda = 4$ см. Каков результат интерференции?

14.135. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $C = 0{,}4$ мкФ и катушки индуктивностью $L = 1$ мГн. Определить длину волны в вакууме, излучаемую этим контуром.

14.136. Определить индуктивность контура, емкость которого $C = 700$ пФ, если он излучает электромагнитные волны длиной $\lambda = 50$ м.

14.137. На каком диапазоне волн работает радиопередатчик, если емкость его колебательного контура может меняться от $C_1 = 60$ пФ до $C_2 = 240$ пФ, а индуктивность $L = 50$ мкГн?

14.138. На какую длину волны настроен радиоприемник, если в его колебательный контур введена емкость $C = 0{,}1$ пФ и в нем возникает ЭДС самоиндукции, равная $\mathscr{E}_{is} = 0{,}2$ В, при скорости изменения силы тока в нем $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 2$ А/с?

14.139. Емкость переменного конденсатора колебательного контура изменяется в пределах от C_1 до $C_2 = 9C_1$. Найти диапазон длин волн, принимаемых контуром, если емкости конденсатора C_1 соответствует длина волны $\lambda_1 = 3$ м.

14.140. Какую электроемкость должен иметь конденсатор, чтобы колебательный контур радиоприемника, состоящий из этого конденсатора и катушки с индуктивностью $L = 10$ мГн, был настроен на волну $\lambda = 1000$ м?

14.141. Колебательный контур радиоприемника настроен на радиостанцию, частота которой $\nu_0 = 9$ МГц. Во сколько раз нужно изменить емкость переменного конденсатора, чтобы контур был настроен на длину волны $\lambda = 50$ м?

14.142. Определить емкость воздушного конденсатора колебательного контура, если известно, что при индуктивности $L = 10^{-2}$ Гн контур настроен в резонанс на электромагнитные колебания с длиной волны $\lambda = 300$ м. Определить расстояние между пластинами конденсатора, если площадь каждой пластины $S = 25{,}4$ см^2.

14.143. Колебательный контур состоит из воздушного конденсатора, площадь пластин которого $S = 100$ см^2 и расстояние между ними $d = 3$ мм, и катушки индуктивностью $L = 10^{-6}$ Гн. Определить длину волны, на которую резонирует контур.

14.144. Радиолокатор работает в импульсном режиме. Частота повторения импульсов $\nu = 1700$ Гц, длительность импульса $t = 0{,}8$ мкс. Определить максимальную и минимальную дальность обнаружения цели данным радиолокатором.

14.145. Высота излучающей антенны телецентра над уровнем земли $H = 300$ м, а высота приемной антенны телевизионного приемника $h = 10$ м. На какое расстояние можно удалить приемник от передатчика для уверенного приема телепередач?

14.146. Каким может быть максимальное число импульсов, испускаемых радиолокатором за время $t = 1$ с, при разведывании цели, находящейся на расстоянии $s = 30$ км от него?

14.147. Радиолокатор работает на волне $\lambda = 15$ см и дает $n = 4000$ импульсов в секунду. Длительность каждого импульса $t = 2$ мкс. Сколько колебаний содержится в каждом импульсе и какова наибольшая глубина разведки локатора?

14.148. На каком предельном расстоянии может быть обнаружена на поверхности моря цель корабельным радиолокатором, расположенным на высоте $h = 8$ м над уровнем моря? Каким должен быть минимальный промежуток времени между соседними импульсами такого локатора? Как следует изменить этот промежуток времени при расположении антенны локатора на большей высоте?

14.149. Почему при связи на коротких волнах получаются зоны молчания?

14.150*. Электромагнитная волна с частотой $\nu = 3$ МГц переходит из вакуума в немагнитную среду с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 4$. Найти приращение ее длины волны.

14.151. Почему увеличение дальности радиолокации в 2 раза требует увеличения мощности передатчика в 16 раз, если источник радиоволн точечный?

14.152*. Судовая радиолокационная станция излучает $n = 1000$ импульсов в секунду с длиной волны $\lambda = 3$ см. Продолжительность импульса $\Delta t = 0{,}3$ мкс, а мощность $P = 70$ кВт. Найти энергию одного импульса, среднюю мощность станции и глубину разведки локатора.

Электромагнетизм

Таблица 14

Формулы	Обозначения	Единицы измерения
Свободные электромагнитные незатухающие колебания $u_C = -u_L$; $\frac{q^2}{2C} + \frac{LI^2}{2} = \text{const}$; $q\mathscr{E} = -\frac{q}{LC}$; $q = q_m \cos \omega t$; $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$; $T = 2\pi\sqrt{LC}$	u — напряжение q — электрический заряд i — сила тока C — емкость L — индуктивность ω — циклическая частота ν — частота T — период	1 В 1 Кл 1 А 1 Ф 1 Гн 1 $с^{-1}$ 1 Гц 1 с
Переменный ток 1. Получение переменного тока $\Phi = BS\cos \omega t$; $e = -\Phi' = BS\omega\sin \omega t$ 2. В цепи переменного тока: а) активное сопротивление $i = I_m \cos \omega t$; $u = U_m \cos \omega t$;	Φ — магнитный поток S — площадь контура B — магнитная индукция $\mathscr{E}$ — ЭДС индукции R — активное сопротивление U, I — эффективные напряжение и ток	1 Вб 1 $м^2$ 1 Тл 1 В 1 Ом

14. Электромагнитные колебания и волны

$I = \dfrac{U}{R}$; $I = \dfrac{I_m}{\sqrt{2}}$; $U = \dfrac{U_m}{\sqrt{2}}$; $P = UI = \dfrac{U_m I_m}{\sqrt{2}}$;		$<P>$ — средняя мощность	1 Вт
б) емкость $i = I_m \cos \omega t$; $u = U_m \cos\left(\omega t - \dfrac{\pi}{2}\right)$; $X_C = \dfrac{U_m}{I_m} = \dfrac{1}{\omega C}$;	C	X_C — емкостное сопротивление	1 Ом
в) индуктивность $i = I_m \cos \omega t$; $u = U_m \cos\left(\omega t + \dfrac{\pi}{2}\right)$; $X_L = \dfrac{U_m}{I_m} = \omega L$	L	X_L — индуктивное сопротивление	1 Ом
3. Последовательная цепь переменного тока $u = U_m \cos(\omega t + \varphi)$; $i = I_m \cos \omega t$;	C L R	φ — сдвиг фазы между током и напряжением	1 рад = 57,3°

Окончание таблицы 14

Формулы	Обозначения		Единицы измерения
$I_m = \frac{U_m}{Z}$; $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$; $\cos\varphi = \frac{R}{Z}$		Z — полное сопротивление цепи	1 Ом
4. Трансформатор $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = K$	~U_1 U_2	n_1, n_2 — число витков на первичной и вторичной обмотках трансформатора K — коэффициент трансформации	
Электромагнитные волны $\lambda = \upsilon T = \frac{\upsilon}{\nu}$; $\upsilon = \frac{c}{n}$	$\vec{E}$ λ O X $\vec{B}$	λ — длина волны υ — скорость распространения волн в среде c — скорость распространения волн в вакууме n — абсолютный показатель преломления	1 м 1 м/с $3 \cdot 10^8$ м/с

Оптика

15. Геометрическая оптика

Прямолинейное распространение света

15.1. Показать, что образование тени является следствием прямолинейного распространения света.

15.2. Как нужно расположить источники света, чтобы во время операции тень от рук хирурга не закрывала место операции?

15.3. Источник света S находится над круглой непрозрачной пластинкой на расстоянии $a = 1$ м от нее (рис. 15.1). Расстояние от пластинки до экрана $b = 0{,}8$ м, а диаметр тени от пластинки на экране $d = 2{,}7$ м. Определить радиус пластинки.

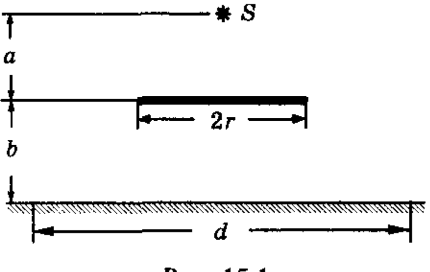


Рис. 15.1

15.4. Диаметр источника света $d = 20$ см, расстояние от него до экрана $s = 2$ м. На каком наименьшем расстоянии l от экрана нужно поместить мяч диаметром $d_1 = 8$ см, чтобы он не отбрасывал тени на экран, а давал только полутень? Прямая, проходящая через центры источника света и мяча, перпендикулярна плоскости экрана.

15.5. На какой высоте H находится лампа[1] над горизонтальной поверхностью стола, если тень от вертикально поставленного на стол карандаша длиной $h = 15$ см оказалась равной $l = 10$ см? Расстояние от основания карандаша до основания перпендикуляра, опущенного из центра лампы на поверхность стола, $L = 90$ см.

15.6. Колышек высотой $h = 1$ м, поставленный вертикально вблизи уличного фонаря, отбрасывает тень длиной $l_1 = 0{,}8$ м. Если перенести колышек на расстояние $d = 1$ м дальше от фонаря (в той же плоскости), то он будет отбрасывать тень длиной $l_2 = 1{,}25$ м. На какой высоте подвешен фонарь?

---

[1] В этой и последующих задачах данного раздела источник света считать точечным, изотропным, если нет особых оговорок.

Отражение света. Плоское зеркало

15.7. Зеркальное или диффузное отражение будет у световых лучей, падающих на киноэкран?

15.8. Почему стороны лопастей винта самолета, обращенные к кабине летчика, окрашивают в черный цвет?

15.9. Для чего у автомобиля слева и справа от водителя помещают небольшие зеркала? Как они расположены по отношению к водителю?

15.10. В некоторых измерительных приборах шкала наносится на плоское зеркало. В чем преимущество такой шкалы?

15.11. Почему на поверхности реки образуется лунная дорожка? Можно ли ее наблюдать на идеально гладкой поверхности воды? Почему она всегда направлена к наблюдателю?

15.12. Построить изображение точечного источника света S в плоском зеркале LL' (рис. 15.2).

15.13. Построить изображение стрелки AB в плоском зеркале (рис. 15.3). Охарактеризовать это изображение.

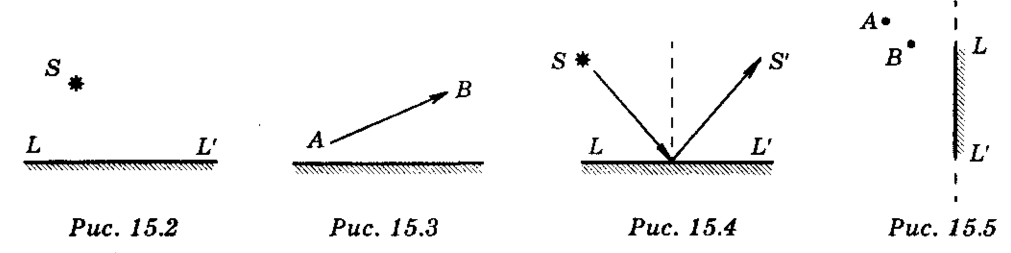


Рис. 15.2 *Рис. 15.3* *Рис. 15.4* *Рис. 15.5*

15.14. Согласно принципу Ферма свет всегда распространяется по наикратчайшему пути. Луч света, исходящий из источника S, отражаясь от плоского зеркала LL' (рис. 15.4), приходит в точку S'. Получить, используя принцип Ферма, закон отражения света.

15.15. Две лампочки находятся в точках A и B (рис. 15.5). Построением показать, где перед зеркалом LL', укрепленным на вертикальной стене, находится глаз мальчика, увидевшего в зеркале изображения этих лампочек совмещенными?

15.16. Шахматная фигура AB расположена на столе так, как показано на рисунке 15.6. Построением хода световых лучей показать положение изображения фигуры в плоском зеркале LL'. Указать область, в которой глаз наблюдателя может увидеть ее изображение.

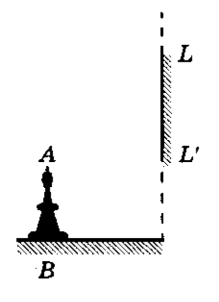


Рис. 15.6

15.17. Определить построением положение плоского зеркала, если AO — падающий луч, OB — отраженный луч (рис. 15.7).

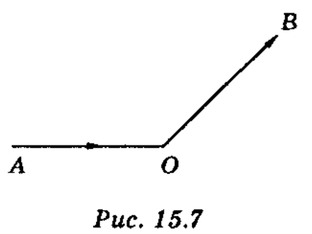


Рис. 15.7

15.18. Солнечный луч составляет с поверхностью Земли угол $\varphi = 40°$. Под каким углом к горизонту следует расположить плоское зеркало, чтобы солнечный луч попал на дно глубокого колодца?

15.19. Солнечный луч, проходящий через отверстие в ставне, составляет с поверхностью стола угол $\alpha = 48°$. Как надо расположить плоское зеркало, чтобы изменить направление луча на горизонтальное?

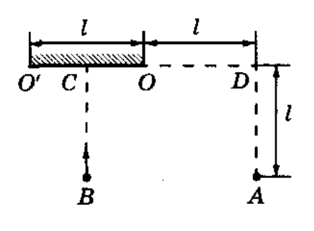
15.20. Под каким углом к поверхности парты надо расположить плоское зеркало, чтобы получить изображение книги, лежащей на парте, в вертикальной плоскости? Поверхность парты составляет с горизонтом угол $\alpha = 20°$.

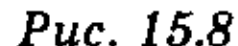
15.21. Человек ростом $H = 1{,}8$ м видит Луну по направлению, составляющему угол $\alpha = 60°$ с горизонтом. На каком расстоянии от себя человек должен положить на землю зеркальце, чтобы в нем увидеть отражение Луны?

15.22. Человек, рост которого $h = 1{,}75$ м, находится на расстоянии $l = 6$ м от столба высотой $H = 7$ м. На каком расстоянии от себя человек должен положить на землю горизонтально маленькое плоское зеркало, чтобы видеть в нем изображение верхушки столба?

15.23. Сбоку от зеркала $O'O$ в точке A стоит человек (рис. 15.8). Второй человек приближается к зеркалу по перпендикуляру BC, проходящему через его середину. Размер зеркала $l = 2CO = OD = DA = 1$ м. На каком расстоянии от зеркала будет находиться второй человек в момент, когда оба увидят друг друга в зеркале?

15.24. В комнате высотой $H = 4$ м на расстоянии $h = 2{,}5$ м от пола висит лампа. Плоское зеркальце диаметром $d = 5$ см лежит на полу на расстоянии l (по горизонтали) от лампы (рис. 15.9). Какого максимального диаметра D будет от него зайчик на потолке, если: а) $l = 0{,}5$ м; б) $l = 1{,}5$ м?




Рис. 15.8

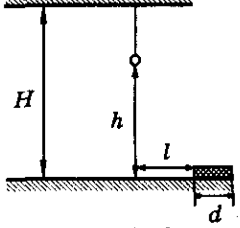


Рис. 15.9

15.25. Какой наименьшей высоты h должно быть вертикальное плоское зеркало, чтобы человек мог, не изменяя положения головы, видеть в нем себя в полный рост H? На каком расстоянии s от пола должен находиться нижний край зеркала? Зависит ли размер зеркала от расстояния между зеркалом и человеком?

15.26. В комнате длиной L и высотой H на стене висит плоское зеркало. Человек смотрит в него с расстояния l. Какова высота h зеркала, если человек видит противоположную стену во всю высоту? На каком расстоянии s от пола находится зеркало, если рост человека y?

15.27. Размеры заднего окна автомобиля $b \times h = 120 \times 45$ см^2. Водитель сидит на расстоянии $l = 2$ м от заднего окна. Каковы должны быть минимальные размеры плоского зеркала заднего вида, висящего на расстоянии $l_0 = 0{,}5$ м перед водителем, чтобы он имел наилучший обзор дорожной обстановки за автомобилем?

15.28. Девочка приближается к зеркалу (перпендикулярно его поверхности) со скоростью $v = 0{,}5$ м/с. С какой скоростью изображение девочки приближается к зеркалу? к девочке?

15.29. Точка S (рис. 15.10) движется со скоростью $v = 3$ см/с, а зеркало — со скоростью $v' = 2$ см/с, движение поступательное. С какой скоростью движется изображение точки S?

15.30. Отражающая поверхность зеркала составляет с плоскостью стола угол $\alpha = 135°$. По направлению к зеркалу по столу катится шар со скоростью $v = 2$ м/с. В каком направлении и с какой скоростью движется изображение шара?

15.31. Маленькое плоское зеркало З расположено параллельно стене С на расстоянии l от нее (рис. 15.11). Свет от укрепленного на стене источника S падает на зеркало и, отражаясь, дает на стене зайчик. С какой скоростью v_x будет двигаться зайчик по стене, если: а) приближать к нему зеркало со скоростью v; б) передвигать зеркало параллельно стене со скоростью u? Как будут меняться размеры зайчика в этих случаях?

15.32. На плоское зеркало LL' (рис. 15.12) падает луч под углом $\alpha = 25°$. На какой угол повернется отраженный луч, если зеркало повернуть вокруг точки O на угол $\beta = 10°$?

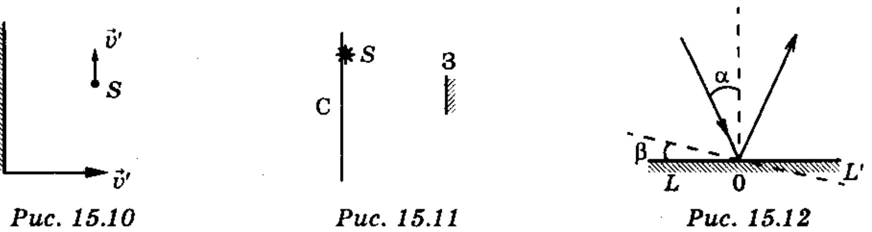


Рис. 15.10 *Рис. 15.11* *Рис. 15.12*

15.33. На вращающееся с угловой скоростью ω плоское зеркальце падает световой луч. Найти угловую скорость вращения ω′ отраженного луча.

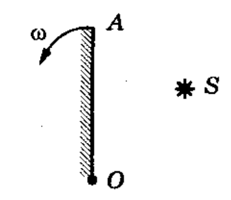


Рис. 15.13

15.34. Зеркало AO вращается с угловой скоростью ω вокруг оси, проходящей через точку O и перпендикулярной плоскости чертежа (рис. 15.13). С какой скоростью движется изображение точки S в зеркале? Точка S неподвижна, расстояние $OS = l$.

15.35. Во многих измерительных приборах роль стрелки играет световой луч, отраженный от плоского зеркала. На какой угол повернулось зеркало, если отраженный луч, перпендикулярный шкале, передвинулся по ней на расстояние $\Delta x = 32$ мм? Расстояние от шкалы до зеркала $R = 2$ м.

15.36. Доказать, что точечный источник света и два его изображения, полученные с помощью двух зеркал, расположенных под углом друг к другу, лежат на одной окружности. Найти положение центра окружности.

15.37. Два плоских зеркала образуют двугранный угол $\varphi = 179°$. На расстоянии $l = 10$ см от линии соприкосновения зеркал и на одинаковом расстоянии от каждого зеркала находится точечный источник света. Определить расстояние между мнимыми изображениями источника в зеркалах (бизеркала Френеля).

15.38. Определить угол между двумя плоскими зеркалами, если точечный источник света и два его изображения находятся в вершинах равностороннего треугольника.

15.39. Два плоских зеркала расположены под углом друг к другу. Между ними помещен точечный источник света. Первое изображение источника в первом зеркале находится на расстоянии $a_1 = 6$ см, а во втором — на расстоянии $a_2 = 8$ см от источника. Расстояние между данными изображениями $l = 10$ см. Найти угол между зеркалами.

15.40. Два плоских зеркала образуют двугранный угол $\alpha = 120°$. В плоскости, делящей этот угол пополам, расположен источник света S (рис. 15.14). Расстояние между первыми изображениями источника равно H. Чему будет равно расстояние между изображениями, если двугранный угол уменьшить в 2 раза?

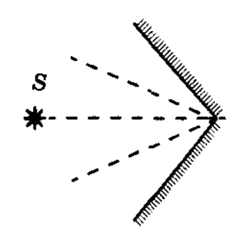


Рис. 15.14

15.41. Угол между двумя плоскими зеркалами меняют, вращая одно из зеркал вокруг ребра другого с постоянной угловой скоростью $\omega = 1{,}5$ град/с. Источник

света S расположен так, как показано на рисунке 15.15; расстояние $h = 10$ см. Через какое время расстояние между первыми изображениями источника в зеркалах будет $l = 10$ см? В начальный момент времени зеркала находились в одной плоскости ($\varphi_0 = 180°$).

15.42. Посередине между двумя плоскими зеркалами, параллельными друг другу, помещен источник света. С какой скоростью нужно перемещать зеркала, чтобы первые изображения источника в зеркалах сближались со скоростью $v = 5$ м/с?

15.43. Точка S движется между двумя плоскими зеркалами, как показано на рисунке 15.16. Чему равна относительная скорость перемещения первых изображений точки, если скорость движения точки S $v = 1,5$ см/с? Чему равно расстояние между изображениями через три секунды после начала движения? Положение точки S в момент начала движения определяется координатами $x_0 = 1,5$ см, $y_0 = 2,5$ см.

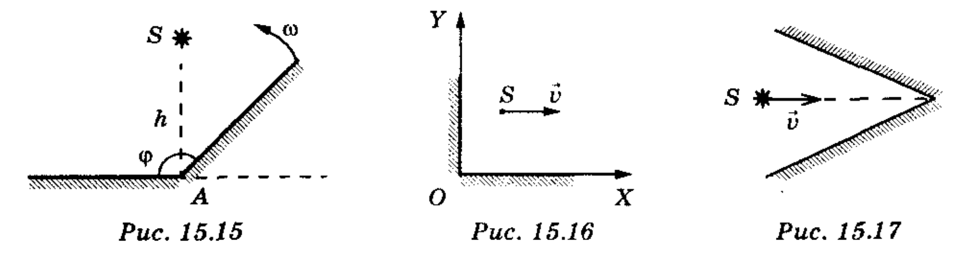


Рис. 15.15 *Рис. 15.16* *Рис. 15.17*

15.44. Два плоских зеркала образуют двугранный угол $\alpha = 60°$. В плоскости, делящей угол пополам, находится точечный источник света S (рис. 15.17). С какой скоростью u будут сближаться первые изображения источника в зеркалах, если он начнет приближаться к линии пересечения зеркал со скоростью v?

15.45. Два источника света S_1 и S_2 расположены на расстоянии $l = 105$ см один от другого. Два плоских зеркала — одно на расстоянии $a_1 = 60$ см от источника S_1, другое — на расстоянии $a_2 = 37,5$ см от источника S_2 — расположены так, что изображения источников S_1' и S_2' совпадают. Найти угол между зеркалами.

15.46. С помощью карандаша и линейки построить все изображения источника света, находящего между двумя плоскими зеркалами, расположенными друг к другу под углом $\varphi = 60°$.

15.47°. Точечный источник света S находится на биссектрисе двугранного угла φ, образованного двумя плоскими зеркалами. Сколько изображений источника n возникнет в этой оптической системе, если: а) $\varphi = 40°$; б) $\varphi = 58°$? Где находятся последние изображения (угловую координату α отсчитывать от источника влево и вправо)?

15.48°. Точечный источник света S помещен между двумя зеркалами, образующими двугранный угол φ, причем угловое расстояние от зеркала *1* равно α (рис. 15.18). Сколько получится изображений и где они будут располагаться, если: а) $\varphi = 45°$, $\alpha = 15°$; б) $\varphi = 40°$, $\alpha = 10°$? Угловую координату δ отсчитывать от источника.

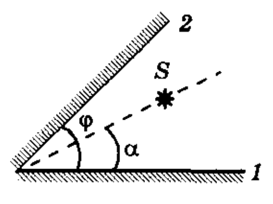


Рис. 15.18

15.49°. Точечный источник света находится между двумя плоскими зеркалами, образующими двугранный угол φ, на одинаковом расстоянии от каждого из них. Чему равен угол φ, если: а) число изображений $n_1 = 7$; б) число изображений $n_2 = 8$; в) число изображений — n?

15.50. Два зеркала образуют двугранный угол α. На одно из них падает луч, лежащий в плоскости, перпендикулярной ребру угла. Найти угол отклонения этого луча от первоначального направления после отражения от обоих зеркал.

15.51. Луч последовательно отражается от двух плоских зеркал, причем луч, падающий на первое зеркало, параллелен плоскости второго зеркала, а дважды отраженный луч параллелен плоскости первого зеркала. Чему равен угол φ между зеркалами?

15.52. Как нужно расположить два плоских зеркала, чтобы при любом угле падения луч падающий и луч, последовательно отразившийся в двух зеркалах, были параллельны друг другу?

15.53. Два малых плоских зеркала расположены на одинаковых расстояниях друг от друга и от источника света. Каким должен быть угол между зеркалами, если луч после двух отражений: а) направится к источнику; б) возвратится к источнику по пройденному пути, т. е. испытает еще одно отражение.

15.54. Построить луч, который, выйдя из точки A после последовательного отражения в двух взаимно перпендикулярных зеркалах, придет в точку B (рис. 15.19).

15.55. В системе зеркал, изображенных на рисунке 15.20, построить луч, который после последовательного отражения в зеркалах *1*, *2*, *3* вернется в точку A, из которой он вышел.

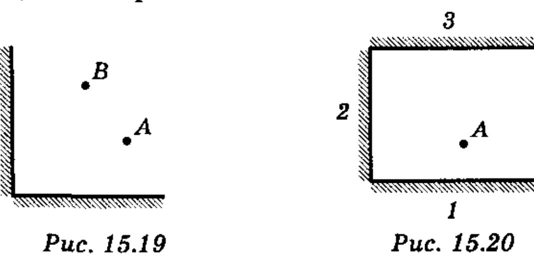


Рис. 15.19 *Рис. 15.20*

15.56. Построить луч, который, выйдя из точки A, находящейся внутри зеркального ящика (рис. 15.21), попал в точку B, отразившись по одному разу от всех четырех стенок. Точки A и B находятся в плоскости рисунка. Сколько решений имеет данная задача?

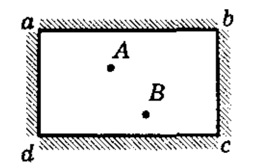


Рис. 15.21

Сферическое зеркало*

15.57*. а) Пучок солнечных лучей падает на вогнутое зеркало и, отразившись, собирается в точке, отстоящей от зеркала на расстоянии $x = 30$ см. Каков радиус кривизны зеркала? б) Радиус кривизны вогнутого зеркала $R = 40$ см. Каково фокусное расстояние этого зеркала? в) Каким следует считать фокусное расстояние плоского зеркала?

15.58*. Построить изображение предмета в вогнутом зеркале, если расстояние от предмета до зеркала: а) $d \to \infty$; б) $d > 2F$; в) $d = 2F$; г) $F < d < 2F$; д) $d = F$; е) $d < F$.

15.59*. Точка S' является изображением источника света S в сферическом зеркале, оптическая ось которого N_1N_2 (рис. 15.22). Найти построением положение центра зеркала и его фокуса.

15.60*. На рисунке 15.23 показан ход луча *1* при отражении от вогнутого зеркала. Как определить направление луча *2* после отражения от зеркала?

15.61*. На рисунке 15.24 показано положение оптической оси N_1N_2 сферического зеркала, расположение источника и его изображения. Найти построением положение центра зеркала, его фокуса и полюса для случаев: а) A — источник, B — изображение; б) B — источник, A — изображение.

15.62*. В фокусе сферического зеркала прожектора помещен источник света в виде светящегося диска радиусом $r = 1$ см. Найти диаметр освещенного пятна на стене на расстоянии $L = 50$ м от прожектора, если фокусное расстояние сферического зеркала $F = 40$ см, а диаметр зеркала $D = 1$ м.

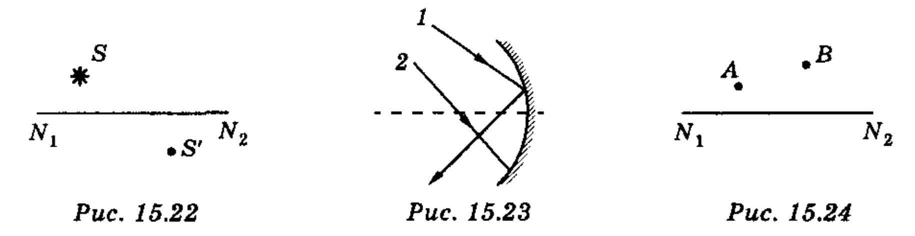


Рис. 15.22 *Рис. 15.23* *Рис. 15.24*

15.63*. Предмет высотой $H = 5$ см находится на расстоянии $a = 12$ см от вогнутого зеркала с фокусным расстоянием $F = 10$ см. На каком расстоянии от оптического центра зеркала находится изображение? Найти высоту изображения.

15.64*. Вогнутое сферическое зеркало дает действительное изображение, которое в $\Gamma = 3$ раза больше предмета. Определить фокусное расстояние зеркала, если расстояние между предметом и его изображением $L = 20$ см.

15.65*. Каков радиус вогнутого сферического зеркала, находящегося на расстоянии $a = 2$ м от лица, если человек видит в нем свое изображение в $n = 1,5$ раза бо́льшим, чем в плоском зеркале, находящемся на том же расстоянии?

15.66*. Сходящиеся лучи падают на выпуклое зеркало с радиусом кривизны $R = 60$ см так, что их продолжения пересекаются на оси зеркала на расстоянии $a = 15$ см (за зеркалом). На каком расстоянии от зеркала сойдутся эти лучи после отражения?

15.67°. Со стороны основания пустотелого конуса высотой h с малым углом при вершине отрезали небольшое кольцо и поместили в параллельный пучок света, широкой частью в сторону пучка (рис. 15.25). На каком расстоянии x сфокусируются отразившиеся от него лучи света?

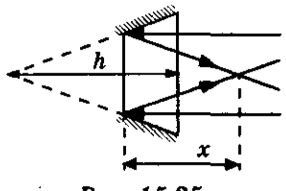


Рис. 15.25

15.68*. Какой формы должна быть отражающая поверхность, чтобы она собирала параллельные лучи в одной точке?

Преломление света

15.69. При каком условии луч проходит через границу раздела двух прозрачных сред, не преломляясь?

15.70. При каком условии угол падения луча света на границу раздела двух сред будет меньше угла преломления?

15.71. Если смотреть над костром, то кажется, что предметы колеблются. Почему?

15.72. При каких условиях прозрачный и бесцветный предмет становится невидимым в проходящих лучах?

15.73. Почему задолго до восхода солнца начинается рассвет?

15.74. Луч падает на поверхность воды под углом $\alpha_1 = 40°$. Под каким углом он должен упасть на поверхность стекла, чтобы угол преломления остался таким же?

15.75. Под каким углом должен упасть луч на поверхность воды, если известно, что он больше угла преломления на $\beta = 10°$?

15.76. Под каким углом должен падать луч света на поверхность материала с показателем преломления $n = 1{,}732$, чтобы угол преломления был в $k = 2$ раза меньше угла падения?

15.77. При падении на плоскую границу двух сред с показателями преломления $n_1 = 1{,}33$, $n_2 = 1{,}5$ луч света частично отражается, частично преломляется. При каком угле падения отраженный луч будет перпендикулярен преломленному?

15.78. Водолаз видит солнце под углом $\beta = 60°$ к поверхности воды. Какова настоящая высота солнца над горизонтом?

15.79. Водолаз видит солнце в направлении, составляющем угол $\alpha = 20°$ с вертикалью. Определить, на какой угол изменилось для водолаза направление на солнце, когда он вышел из воды.

15.80. На дне водоема лежит небольшой камень. Мальчик хочет попасть в него концом палки. Прицеливаясь, мальчик держит палку в воздухе под углом $\alpha = 45°$ к поверхности воды. На каком расстоянии от камня воткнется палка в дно водоема, если его глубина $h = 50$ см?

15.81. Столб вбит в дно реки, так что часть столба высотой $h = 1$ м возвышается над водой. Найти длину тени столба на поверхности воды и на дне реки, если высота солнца над горизонтом $\alpha = 30°$, а глубина реки $H = 2$ м.

15.82. Пучок параллельных лучей падает под углом $\alpha = 45°$ из воздуха на поверхность воды, находящейся в сосуде прямоугольной формы (рис. 15.26). При этом тень, отбрасываемая боковой стенкой сосуда на его дно, составляет $\eta = {}^3/_4$ от тени, полученной при отсутствии воды. Какая часть сосуда заполнена водой?

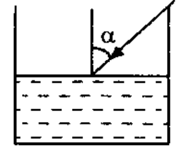


Рис. 15.26

15.83°. На поверхности водоема глубиной $H = 2$ м находится круглый плот, радиус которого $R = 8$ м. Определить радиус полной тени от плота на дне водоема при освещении воды рассеянным светом.

15.84. Высота солнца над горизонтом составляет угол $\alpha = 10°$. Пользуясь зеркалом, пускают зайчик в водоем. Под каким углом к горизонту нужно расположить зеркало, чтобы луч света шел в воде под углом $\beta = 41°$ к вертикали? Считать, что нормаль к зеркалу лежит в вертикальной плоскости. Рассмотреть возможные варианты решения.

15.85. Угол падения луча на поверхность водоема $\alpha = 60°$. Определить, под каким углом к горизонту нужно установить зеркало на дне водоема, чтобы отраженный луч вышел из воды вертикально вверх.

15.86. Палка с изломом посередине погружена в пруд (рис. 15.27) так, что наблюдателю, находящемуся на берегу и смотрящему вдоль надводной части, она кажется прямой, составляющей угол $\alpha = 30°$ с горизонтом. Какой угол излома γ имеет палка?

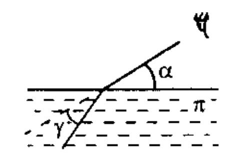


Рис. 15.27

15.87. Какова истинная глубина ручья, если при определении на глаз по вертикальному направлению глубина его кажется равной $h = 60$ см?

15.88. Пловец, нырнувший в бассейн, смотрит из-под воды на лампу на потолке, находящуюся на расстоянии $h = 4$ м от поверхности воды. Каково кажущееся расстояние от поверхности воды до лампы?

15.89. В сосуд налиты две несмешивающиеся жидкости с показателями преломления $n_1 = 1{,}3$ и $n_2 = 1{,}5$. Сверху находится жидкость с показателем преломления n_1. Толщина ее слоя $h_1 = 3$ см. Толщина слоя второй жидкости $h_2 = 5$ см. На каком расстоянии от поверхности верхней жидкости будет казаться расположенным дно сосуда, если смотреть на него сверху через обе жидкости?

15.90. Светящуюся точку, находящуюся в среде с показателем преломления n_1 рассматривают из среды с показателем преломления n_2. Каково будет кажущееся расстояние h точки от границы раздела сред, если точка находится от этой границы на расстоянии h_0? Угол падения луча на границу раздела считать малым.

15.91. На дне сосуда, заполненного водой, лежит плоское зеркало. Человек, наклонившийся над сосудом, видит изображение своего лица в зеркале на расстоянии $d = 25$ см, если расстояние от лица до поверхности воды $h = 5$ см. Определить глубину сосуда l.

15.92. На высоте h от поверхности воды расположен точечный источник света. Где будет находиться изображение этого источника, даваемое плоским зеркальным дном сосуда, если толщина слоя воды d? Показатель преломления воды n.

Полное внутреннее отражение

15.93. Можно ли наблюдать явление полного внутреннего отражения при переходе света из воздуха в воду?

15.94. Чем отличается явление отражения света от явления полного внутреннего отражения?

15.95. Начертить дальнейший ход лучей, падающих в точки A и B от источника света S (рис. 15.28), находящегося на дне сосуда, в который налита вода (т. е. найти углы преломления лучей).

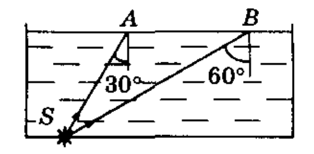


Рис. 15.28

15.96. Вычислить предельные углы полного внутреннего отражения для стекла и алмаза.

15.97. Предельный угол полного внутреннего отражения для некоторого вещества $\alpha = 30°$. Найти показатель преломления этого вещества.

15.98. Луч света переходит из стекла в некоторое вещество. При этом предельный угол полного внутреннего отражения $\alpha_{пр} = 45°$. Определить показатель преломления вещества.

15.99. Луч света падает на стеклянную пластинку под углом $\alpha = 57°$. При этом угол между отраженным и преломленным лучами $\gamma = 90°$. Найти предельный угол полного внутреннего отражения.

15.100. Для системы вода—воздух предельный угол полного внутреннего отражения $\alpha_1 = 49°$, для системы стекло—воздух он равен $\alpha_2 = 42°$. Найти предельный угол полного внутреннего отражения для системы стекло—вода.

15.101. При переходе из первой среды во вторую угол преломления $\beta_{12} = 45°$, а при переходе из первой среды в третью угол преломления $\beta_{13} = 30°$ (при том же угле падения). Найти предельный угол полного внутреннего отражения для луча, идущего из третьей среды во вторую.

15.102. В воде распространяются два параллельных луча *1* и *2* (рис. 15.29). Луч *1* выходит непосредственного в воздух, а луч *2* проходит сквозь горизонтальную плоскопараллельную стеклянную пластинку. Определить: а) будут ли лучи *1* и *2* параллельны при выходе в воздух; б) выйдет ли в воздух луч *2*, если луч *1* испытывает полное отражение.

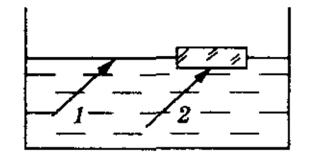


Рис. 15.29

15.103. В жидкость с показателем преломления $n = 1{,}8$ помещен источник света. На каком максимальном расстоянии над источником надо поместить диск диаметром $D = 4$ см, чтобы свет не вышел из жидкости в воздух? Глубина погружения источника: а) $H_1 = 4$ см; б) $H_2 = 2$ см.

15.104. Водолаз ростом $h = 1{,}7$ м стоит на горизонтальном дне водоема, глубина которого $H = 10$ м. На каком минимальном расстоянии от водолаза находятся те части дна, которые он может увидеть отраженными от поверхности воды?

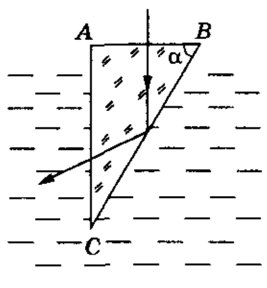


Рис. 15.30

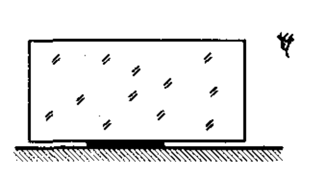


Рис. 15.31

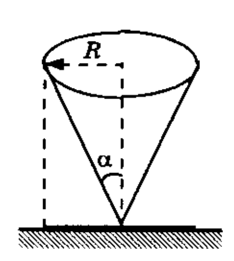


Рис. 15.32

15.105. Для наблюдения за морскими животными в днище судна сделан иллюминатор, диаметр которого $d = 40$ см много больше толщины стекла. Определить площадь обзора дна из этого иллюминатора, если расстояние от него до дна $h = 5$ м. Показатель преломления воды $n = 1{,}4$.

15.106. Узкий луч света падает на горизонтальную водную поверхность под углом α. Под каким минимальным углом β к поверхности воды нужно установить в воде зеркало, чтобы лучи, отразившись от него, не могли бы выйти из воды в воздух? Показатель преломления воды n.

15.107. В воду опущен прямоугольный стеклянный клин (рис. 15.30). При каких значениях угла α луч света, падающий нормально на грань AB, испытает полное внутреннего отражение?

15.108. Стеклянный параллелепипед находится над монетой (рис. 15.31). а) Доказать, что монету нельзя увидеть через боковую грань параллелепипеда. б) Будет ли видна монета, если вместо стеклянного параллелепипеда установлен аквариум с водой?

15.109. На горизонтальной плоскости зачернен круг радиуса R (рис. 15.32). Стеклянный конус упирается вершиной в центр круга так, что его ось перпендикулярна плоскости. Определить видимый радиус круга, если на него смотрят с большого расстояния вдоль оси конуса. Угол при вершине конуса $2\alpha = 60°$.

15.110. Параллельный пучок света падает нормально на основание стеклянного конуса, сечение которого — равносторонний треугольник (рис. 15.33). Площадь сечения пучка равна площади основания конуса, радиус которого $r = 1$ см. Определить площадь светлого пятна на экране Э, перпендикулярном оси конуса и расположенном на расстоянии $d = 1$ см от его вершины.

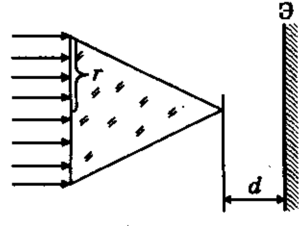


Рис. 15.33

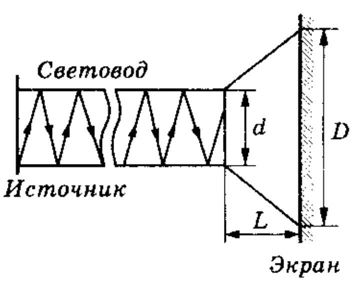


Рис. 15.34

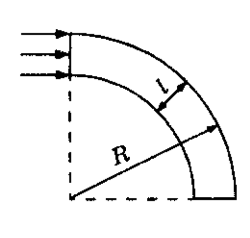


Рис. 15.35

15.111. Световод (длинная, очень тонкая стеклянная нить) изготовлен из прозрачного материала с показателем преломления $n = 1{,}2$. Один из торцов световода прижат к источнику рассеянного света, другой торец расположен на расстоянии $L = 5$ см от экрана (рис. 15.34). Найти диаметр светового пятна на экране. (Вдоль световода проходят лучи, испытывающие полное внутреннее отражение.)

15.112. Каким должен быть внешний радиус R изгиба световода толщиной l (рис. 15.35), чтобы свет, вошедший в световод перпендикулярно поперечному сечению, распространялся не выходя через боковую поверхность световода?

Прохождение света через плоскопараллельную пластину

15.113. Построить ход луча через стеклянную пластину[1], если угол падения луча $\alpha = 60°$. Каким будет смещение луча относительно первоначального направления после его выхода из пластины в воздух, если толщина пластины $h = 2$ см?

15.114. На столе лежит лист бумаги. Луч света, падающий на бумагу под углом $\alpha = 45°$, образует на нем светлое пятно. На сколько сместится это пятно, если на бумагу положить стеклянную пластину толщиной $h = 2$ см?

15.115. При некотором угле падения на пластину луч отраженный и луч преломленный оказываются взаимно перпендикулярными. Вычислить угол падения и смещение луча при выходе через нижнюю грань пластины относительно первоначального направления. Толщина пластины $h = 5$ см.

[1] Во всех задачах этого раздела пластины считать плоскопараллельными.

15.116. Источник света рассматривают через пластину толщиной h с показателем преломления n. На какое расстояние Δx источник кажется приближенным к поверхности пластинки, если угол зрения с нормалью к поверхности пластинки считать малым?

15.117. При отражении от стеклянной пластинки толщиной d получили два изображения точки S, соответствующих отражениям от двух поверхностей пластинки. Каково расстояние l между этими изображениями? Зависит ли это расстояние от положения точки S относительно пластинки? Решение проиллюстрировать построением. Показатель преломления пластинки — n. Углы падения световых лучей на пластинку считать малыми.

15.118. На какое расстояние l сместится луч света, распространяющийся в стекле с показателем преломления n, если на его пути имеется плоскопараллельная щель шириной d, заполненная воздухом? Угол падения луча на щель равен α. Полного отражения не происходит.

15.119. На горизонтальном дне водоема глубиной $h = 1{,}2$ м лежит плоское зеркало. На каком расстоянии от места вхождения луча в воду этот луч снова выйдет на поверхность воды после отражения от зеркала? Угол падения луча $\alpha = 30°$.

15.120. На прозрачную пластинку толщиной $d = 1$ см падает луч света под углом $\alpha = 60°$. Показатель преломления материала пластинки $n = 1{,}73$. Частично луч отражается от верхней поверхности, частично проходит сквозь пластинку, отражается от нижней поверхности и, преломившись вторично, выходит в воздух (рис. 15.36). Найти: а) угол φ выхода луча *2* в воздух; б) длину L пути, пройденного преломленным лучом в пластинке; в) расстояние x между лучами *1* и *2*.

15.121. На какой угол от своего начального направления отклонится луч в слоистой среде (рис. 15.37)? Показатели преломления $n_1 = 1$, $n_3 = \dfrac{4}{3}$, угол падения $\alpha = 60°$.

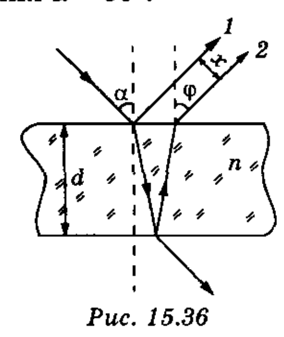


Рис. 15.36

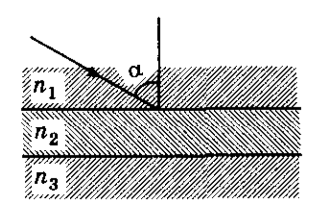


Рис. 15.37

15.122°. Луч света из прозрачной среды, показатель преломления которой $n_0 = 2$, падает под углом $\alpha = 32°$ на стопку прозрачных пластин, показатель преломления каждой из которых в $k = 1,2$ раза меньше, чем у вышележащей. а) Сколько пластин должно быть в стопке, чтобы луч не прошел ее, если показатель преломления самой верхней пластины $n_1 = 1,8$? б) Каким должен быть показатель преломления последней пластины в стопке? в) Возникло бы данное явление, если бы луч падал из воздуха на стопку данных пластин?

Прохождение света сквозь призму

15.123. На призму с преломляющим углом $\delta = 30°$ перпендикулярно боковой грани падает луч света (рис. 15.38). На какой угол отклонится луч после выхода из призмы, если показатель преломления вещества призмы $n = 1,73$? При каком минимальном показателе преломления луч не выйдет из призмы через вторую боковую грань?

15.124. Найти преломляющий угол призмы из стекла с показателем преломления $n = 1,56$, если луч, падающий перпендикулярно одной из ее граней, выходит из призмы почти параллельно другой грани.

15.125. Сечение стеклянной призмы имеет форму равностороннего треугольника. Луч света падает перпендикулярно на одну из граней. Построить ход светового луча в призме. Найти угол отклонения луча призмой.

15.126. При каком значении показателя преломления материала n равнобедренной прямоугольной призмы возможен такой ход светового луча, как показано на рисунке 15.39?

15.127. На рисунке 15.40 показан ход светового луча в равнобедренной призме ($BC = CD$), который до и после призмы распространяется параллельно ее основанию. Доказать, что при любом показателе преломления ($n > 1$) в точке A происходит полное внутреннее отражение.

15.128. Горизонтальный луч света падает на боковую поверхность треугольной равносторонней призмы. Найти угол отклонения луча призмой, если относительный показатель преломления материала призмы n. Рассмотреть два возможных варианта ($n \leqslant 1,5$).

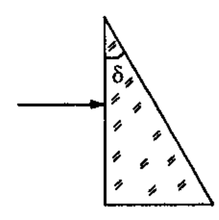
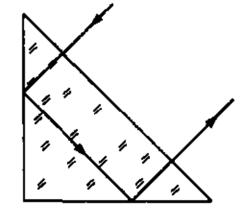


Рис. 15.38


Рис. 15.39

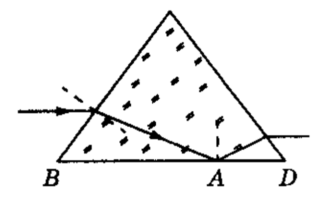


Рис. 15.40

15.129. На рисунке 15.41 показан ход светового луча в равнобедренной призме с углом при вершине $\delta = 30°$ (внутри призмы луч распространяется параллельно основанию). Найти угол отклонения луча γ. Показатель преломления материала призмы $n = 2$.

15.130. На рисунке 15.42 показан ход луча в равнобедренной призме с прямым углом при вершине ($AB = BC$, $\angle ABC = 90°$). При каких углах падения на грань AC луч выйдет из призмы, дважды испытав полное внутреннее отражение на гранях AB и BC? Показатель преломления призмы $n = 2$.

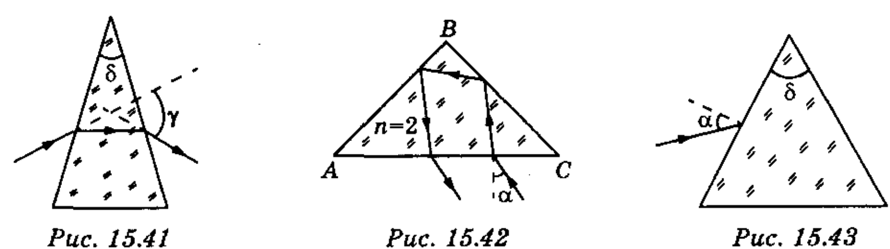


Рис. 15.41 Рис. 15.42 Рис. 15.43

15.131. На боковую грань призмы с преломляющим углом $\delta = 45°$, изготовленной из материала с показателем преломления $n = 2$, падает луч света (рис. 15.43). При каком наибольшем угле падения α преломленный луч не выйдет из призмы?

15.132. Определить угол отклонения луча света призмой при его нормальном падении на боковую грань стеклянной призмы с малым преломляющим углом $\delta = 3°$.

15.133°. Доказать, что для малых углов падения α на боковую грань призмы с малым преломляющим углом δ угол отклонения луча γ от первоначального направления можно определить по формуле $\gamma = \delta\,(n - 1)$, т. е. он не зависит от угла падения α. Показатель преломления вещества призмы n.

Прохождение света через прозрачные тела, имеющие форму цилиндра или шара

15.134. Два концентрических полушара изготовлены из стекла с различными показателями преломления (рис. 15.44). Построить ход светового луча AB, если отношение радиусов шаров равно отношению показателей преломления: $\dfrac{R_1}{R_2} = \dfrac{n_1}{n_2}$. Ответ обосновать.

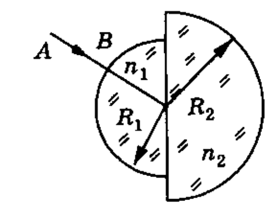


Рис. 15.44

а) б)

Рис. 15.45 Рис. 15.46

15.135. Луч света нормально падает на плоскую поверхность стеклянной полусферы радиусом $R = 4$ см (рис. 15.45). Расстояние от точки падения луча до оси полусферы OO' $a = 2$ см. Показатель преломления стекла $n = 1{,}41$. На каком расстоянии x от плоской поверхности полусферы луч пересечет ось OO'?

15.136°. Узкий пучок света (рис. 15.46, *а*), проходя через полушар из материала с показателем преломления n, пересекается в точке O. Где пересекутся лучи, если пучок пустить в обратном направлении (рис. 15.46, *б*)? Величина x задана. Радиус полушара и размер x много больше ширины светового пучка.

15.137. На полушар радиусом $r = 2$ см, изготовленный из стекла с показателем преломления $n = 1{,}41$, падает параллельный пучок лучей (рис. 15.47). Определить радиус светлого пятна на экране Э, расположенном на расстоянии $L = 4{,}82$ см от центра полушара.

15.138. Два параллельных световых луча падают на боковую поверхность круглого прозрачного цилиндра (рис. 15.48). Расстояние между лучами равно радиусу R основания цилиндра. Лучи параллельны основанию цилиндра. Найти показатель преломления материала цилиндра, при котором лучи пересекаются на его поверхности.

15.139. На стеклянный шар радиусом $R = 10$ см параллельно оси OO' падает луч света в точке A (рис. 15.49). Показатель преломления стекла $n = 1{,}7$. На каком расстоянии a от оси OO' должен идти луч, чтобы он вышел из шара в точке B, лежащей на оси OO'?

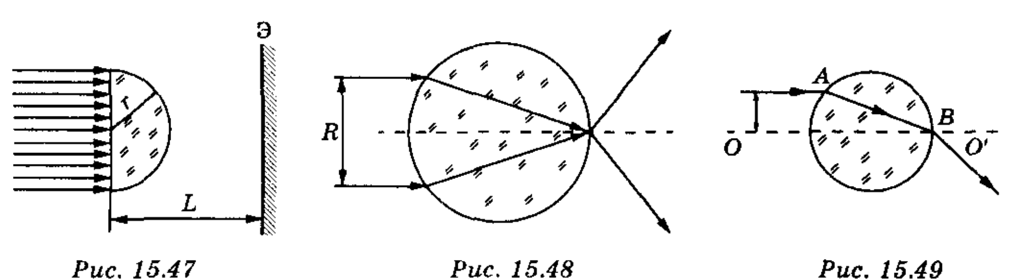


Рис. 15.47 Рис. 15.48 Рис. 15.49

15.140. Луч света падает на стеклянный цилиндр. Найти зависимость угла отклонения β луча цилиндром от угла падения α. Показатель преломления n.

15.141°. Тонкий пучок света, проходящий через центр стеклянного шара, фокусируется в точке, отстоящей от центра шара на расстоянии, равном двум его радиусам. Определить показатель преломления стекла.

15.142. На тонкостенный стеклянный шар, наполненный прозрачной жидкостью, падает узкий параллельный пучок света так, что ось пучка проходит через центр шара. На противоположной стороне шара пучок света имеет диаметр в $m = 2$ раза меньше диаметра падающего пучка. Каков показатель преломления жидкости?

15.143°. Внутри стеклянного шара радиусом $r = 2$ см слева от центра вблизи поверхности находится точечный источник света S (рис. 15.50). На каком расстоянии L от центра, справа от шара, надо установить экран Э, чтобы радиус освещенной области был равен r? Показатель преломления материала шара $n = 2$.

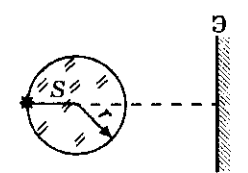


Рис. 15.50

15.144. Узкий цилиндрический пучок света падает на сферический пузырек воздуха, находящийся в некоторой жидкости так, что ось пучка проходит через центр пузырька. Определить показатель преломления жидкости n, если известно, что площадь сечения пучка на выходе в $k = 4$ раза больше площади сечения на входе.

Построение в линзе

15.145. Построить изображение точечного источника света S, получаемого с помощью линзы[1] (рис. 15.51). Охарактеризовать это изображение. Определить область пространства, в которой его можно увидеть.

15.146. Построить и охарактеризовать изображение предмета, получаемое с помощью собирающей линзы, если расстояние от предмета до линзы: а) $d \to \infty$; б) $\infty > d > 2F$; в) $d = 2F$; г) $2F > d > F$; д) $d = F$; е) $F > d > 0$.

Рис. 15.51

[1] В задачах данного раздела, если нет особых оговорок, линзу считать тонкой.

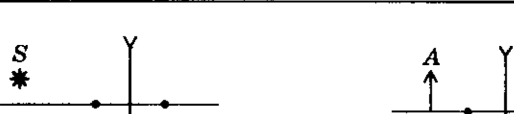


Рис. 15.52 Рис. 15.53

15.147. Построить изображение источника света S, которое дает рассеивающая линза (рис. 15.52). Какое это будет изображение?

15.148. Построить изображение предмета AB, получаемое при помощи рассеивающей линзы (рис. 15.53). Охарактеризовать изображение. Как зависит размер изображения от расстояния от предмета до линзы (d)?

15.149. Построить изображение точечного источника в тонкой линзе для случаев, изображенных на рисунке 15.54.

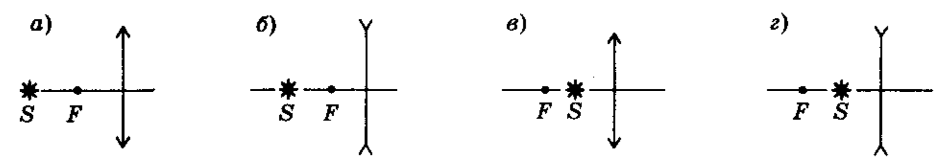


Рис. 15.54

15.150. Определить графически и аналитически положение источника света, если известно положение его изображения (рис. 15.55): а) $S'O$ = 15 см, F = 10 см; б) $S'O$ = 40 см, F = 20 см; в) $S'O$ = 8 см, F = 10 см. Источник света — слева от линзы. Какое это изображение?

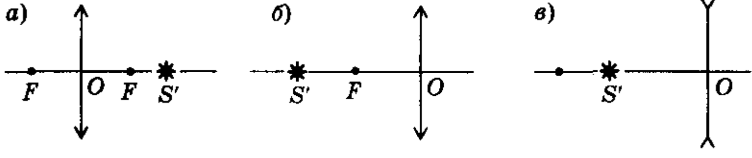


Рис. 15.55

15.151. Определить графически и аналитически положение фокусов линзы, если известны положения оптического центра O, источника S и его изображения S' (рис. 15.56): а) OS = 5 см, OS' = 15 см; б) OS = 20 см, OS' = 10 см; в) OS = 20 см, OS' = 5 см (рис. 15.56). Какая линза использована в каждом случае? Охарактеризовать каждое изображение.

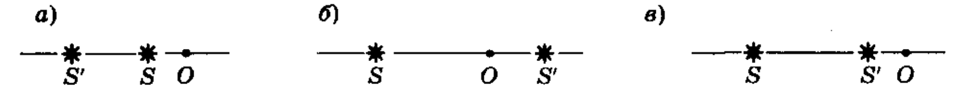


Рис. 15.56

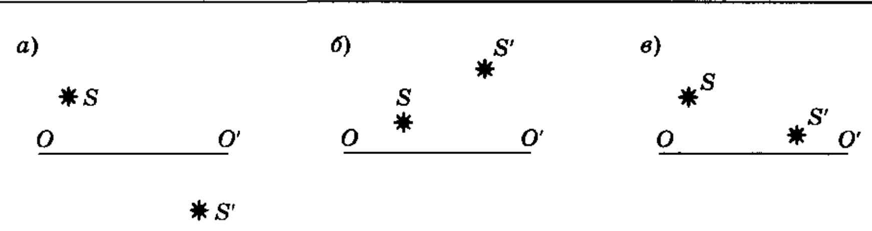


Рис. 15.57

15.152. На рисунке 15.57 показаны: OO' — главная оптическая ось линзы. S и S' — светящаяся точка и ее изображение соответственно. Найти построением положение линзы и ее фокусов. Построение пояснить. Какая это линза? Изображение действительное или мнимое?

15.153. В каком из ящиков (рис. 15.58) находится собирающая линза, а в каком — рассеивающая? Сделать пояснительные чертежи.

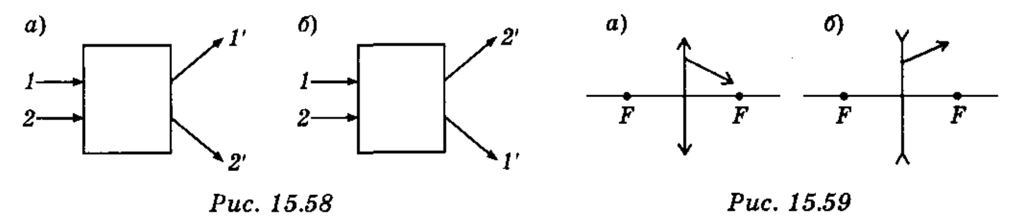


Рис. 15.58 *Рис. 15.59*

15.154. На рисунке 15.59 изображен ход светового луча после прохождения линзы. Найти построением ход луча до линзы. Положение фокусов известно.

15.155. На рисунке 15.60 показан ход светового луча *1* до и после линзы. Найти построением положение фокусов линзы и ход светового луча *2*.

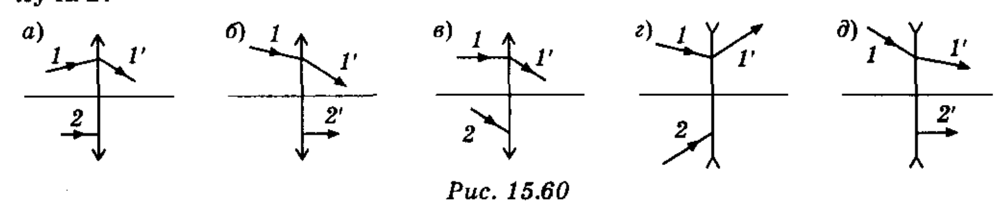


Рис. 15.60

15.156. Построить изображения предметов в линзах, показанных на рисунке 15.61.

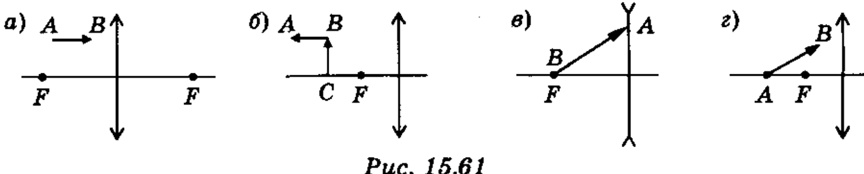


Рис. 15.61

Формула линзы

15.157. Всегда ли двояковыпуклая линза является собирающей, а двояковогнутая — рассеивающей?

15.158. Можно ли на экране с помощью рассеивающей линзы получить изображение свечи?

15.159. Как практически определить наиболее простым способом фокусные расстояния собирающей линзы?

15.160. С помощью линзы на экране получено изображение предмета. Изменится ли это изображение, если половину линзы закрыть непрозрачным экраном?

15.161. Фокусное расстояние линзы $F = 20$ см, расстояние от предмета до линзы $d = 10$ см. Определить расстояние f от изображения до линзы, если: а) линза собирающая; б) линза рассеивающая. Какое получится изображение?

15.162. Мнимое изображение предмета получено в фокальной плоскости собирающей линзы. На каком расстоянии от линзы находится предмет?

15.163. Точка A находится на главной оптической оси собирающей линзы на расстоянии $l = 5$ см от фокуса. Где находится изображение точки, если фокусное расстояние линзы $F = 20$ см? Действительное оно или мнимое? Рассмотреть все возможные случаи.

15.164. Фокусное расстояние объектива большого рефрактора (телескопа) в Пулкове $F \approx 14{,}1$ м. Какова оптическая сила этого объектива?

15.165. На расстоянии $d = 18$ см от тонкой собирающей линзы, оптическая сила которой $D = \dfrac{25}{3}$ дптр, находится светящаяся точка. На каком расстоянии f от линзы находится ее изображение?

15.166. Светящаяся точка находится на главной оптической оси линзы с оптической силой $D = -2{,}5$ дптр. Расстояние от линзы до ее изображения $f = 30$ см. На каком расстоянии от линзы находится точка?

15.167. Предмет помещают на главной оптической оси собирающей линзы на расстоянии $d = 20$ см от нее и получают действительное изображение предмета на расстоянии $f = 4F$, где F — фокусное расстояние линзы. Определить фокусное расстояние.

15.168. Предмет помещают на главной оптической оси рассеивающей линзы на расстоянии $d = 1{,}5F$, где F — фокусное расстояние линзы. Изображение предмета при этом получается на расстоянии $f = 20$ см от линзы. Определить фокусное расстояние линзы.

15.169. Источник света находится на оптической оси тонкой собирающей линзы на расстоянии d_1 = 20 см от нее, а его мнимое изображение получается на расстоянии f_1 = 30 см от нее. На каком расстоянии от линзы получится изображение светящейся точки, находящейся на расстоянии d_2 = 10 см от нее? Какое получится изображение?

15.170. Каково минимальное расстояние между предметом и его действительным изображением для линзы с фокусным расстоянием F?

15.171. Расстояние между точечным источником света и экраном L = 3 м. Линза, помещенная между ними, дает четкое изображение при двух положениях, расстояние между которыми l = 1 м. Найти фокусное расстояние линзы.

15.172. С помощью линзы с фокусным расстоянием F = 25 см изображение предмета проектируется на экран, расположенный от линзы на расстоянии f = 1,25 м. Экран придвинули к линзе на Δf = 25 см. На сколько и куда следует переместить предмет, чтобы опять получить его четкое изображение на экране?

15.173. Расстояние между двумя точечными источниками света, находящимися на главной оптической оси линзы, l = 24 см. Где между ними помещена линза, если изображения обоих источников оказываются в одной точке? Фокусное расстояние линзы F = 9 см.

15.174. Точечный источник света находится на главной оптической оси OO' линзы. Когда он находился в точке A, его изображение было в точке B, а когда его переместили в точку B, изображение попало в точку C (рис. 15.62). Найти фокусное расстояние линзы, если AB = 10 см и BC = 20 см.

O A B C O'

Рис. 15.62

15.175. На пути сходящегося пучка поставили собирающую линзу с фокусным расстоянием F = 10 см, в результате чего лучи сошлись на расстоянии f = 5 см от линзы. Где пересекутся лучи, если линзу убрать?

15.176. Световой луч падает на рассеивающую линзу с фокусным расстоянием F = 13,5 см и после преломления пересекает главную оптическую ось на расстоянии f = 9 см от линзы. В какой точке пересечет ось этот луч, если линзу убрать? Построить ход луча.

15.177. Сходящийся пучок света падает на собирающую линзу с фокусным расстоянием F = 30 см так, что продолжения лучей пересекаются на побочной оптической оси линзы в точке C на расстоянии d = 15 см от плоскости линзы (рис. 15.63). Где пересекаются лучи, преломленные линзой? Построить ход лучей.

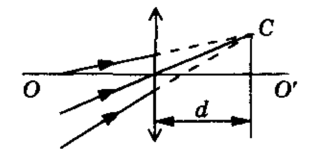


Рис. 15.63

15.178. На рисунке 15.64 показано, как линза LL' преломляет падающие на нее световые лучи. Зная, что $AS = 40$ см и $AS' = 60$ см, найти фокусное расстояние линзы. Какая это линза? OO' — главная оптическая ось линзы.

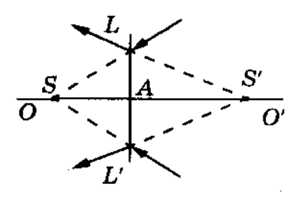


Рис. 15.64

15.179°. Экран расположен на расстоянии $L = 21$ см от отверстия, в которое вставлена линза радиусом $r = 5$ см. На линзу падает сходящийся пучок лучей, в результате чего на экране образуется светлое пятно радиусом $R = 3$ см. Оказалось, что если линзу убрать, радиус пятна не изменится. Найти фокусное расстояние линзы.

15.180°. Точечный источник света помещен в фокусе собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 12$ см. За линзой на расстоянии $b = 24$ см от нее расположен плоский экран, на котором видно светлое пятно. В какую сторону и на какое расстояние надо переместить вдоль главной оптической оси источник, чтобы радиус светлого пятна на экране увеличился в $n = 2$ раза?

15.181°. На оси тонкой собирающей линзы радиусом R, на расстоянии d от линзы, находится источник света, резкое изображение которого получается на экране за линзой. Каков будет радиус пятна r на экране, если источник: а) отодвинуть от линзы на расстояние Δd; б) придвинуть к линзе на расстояние Δd? Фокусное расстояние линзы F ($d - \Delta d > F$).

15.182. Нить AB, длина которой равна половине фокусного расстояния тонкой линзы, расположена вдоль главной оптической оси линзы так, как это показано на рисунке 15.65. Определить продольное увеличение нити, т. е. отношение длины изображения $A'B'$ к длине AB.

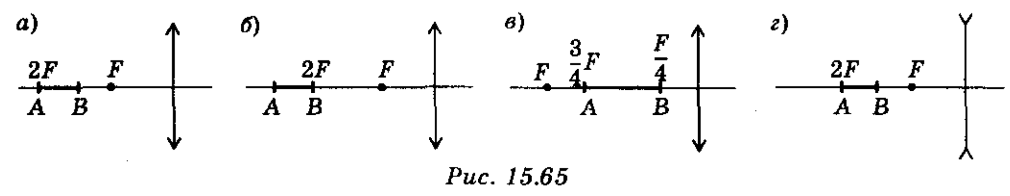


Рис. 15.65

15.183*. На плоско-выпуклую стеклянную линзу с радиусом кривизны $R = 20$ см падает перпендикулярно плоской поверхности параллельный пучок света. В какой точке он соберется (вывод формулы для фокусного расстояния линзы)? Изменится ли ответ, если на линзу направить параллельный пучок света противоположного направления?

15.184*. Определить фокусное расстояние двояковыпуклой тонкой линзы, изготовленной из стекла. Радиусы кривизны поверхностей линзы $R_1 = 20$ см и $R_2 = 30$ см.

15.185*. Из двух часовых тонких стекол с одинаковыми радиусами кривизны $R = 0{,}5$ м склеена двояковыпуклая «воздушная» линза. Какое фокусное расстояние будет у этой линзы, если ее поместить в воду?

15.186*. Главное фокусное расстояние тонкой собирающей линзы, изготовленной из стекла, в воздухе $F_0 = 10$ см. Чему оно будет равно, если линзу поместить в: а) воду; б) масло?

Увеличение линзы

15.187. На лист с печатным текстом попала капля подсолнечного масла. Почему буквы, видимые через масло, кажутся больше соседних?

15.188. Диаметр Солнца $D = 1{,}4 \cdot 10^6$ км, расстояние до него $s = 1{,}5 \cdot 10^8$ км. Найти размер изображения Солнца, получаемого при помощи линзы с фокусным расстоянием $F = 120$ см.

15.189. Предмет, расположенный на расстоянии $d = 125$ см от собирающей линзы перпендикулярно ее главной оптической оси, дает на экране изображение высотой $H = 25$ мм. Найти высоту предмета, если фокусное расстояние линзы $F = 0{,}25$ м.

15.190. Изображение миллиметрового деления шкалы, расположенной перед линзой на расстоянии $d = 12{,}5$ см и перпендикулярной главной оптической оси, имеет на экране длину $H = 2{,}4$ см. Вычислить фокусное расстояние линзы.

15.191. Точка лежит на оптической оси собирающей линзы, на расстоянии $d = 40$ см от нее. Фокусное расстояние линзы $F = 10$ см. Точку перенесли на расстояние $h = 5$ см в плоскости, перпендикулярной оптической оси. На какое расстояние нужно подвинуть линзу в ее плоскости, чтобы изображение точки получилось в первоначальном месте?

15.192. Расстояние от предмета до плоскости собирающей линзы в n раз меньше ее фокусного расстояния. Найти увеличение предмета Г. Охарактеризовать полученное изображение.

15.193. Расстояние от предмета до изображения в $n = 5$ раз больше, чем расстояние от предмета до линзы. Какая это линза? Определить ее увеличение. Рассмотреть все возможные варианты решения.

15.194. Расстояние от линзы до изображения больше расстояния от предмета до линзы на $\Delta L = 0{,}5$ м. Найти эти расстояния, если увеличение линзы $\Gamma = 3{,}5$. С помощью какой линзы получено изображение? Определить фокусное расстояние линзы.

15—1695

15.195. Спичка расположена в фокальной плоскости рассеивающей линзы. Во сколько раз изображение, полученное с помощью линзы, меньше истинной длины спички?

15.196. Предмет находится на расстоянии $d = 20$ см от тонкой линзы, при этом размер изображения в $\Gamma = 3$ раза превосходит размер предмета. Каким может быть фокусное расстояние линзы? Рассмотреть все возможные варианты решения.

15.197. Изображение некоторого предмета находится на расстоянии $f = 10$ см от тонкой линзы, при этом его величина в $n = 2$ раза меньше самого предмета. Найти оптическую силу линзы. Рассмотреть все возможные случаи.

15.198. На каком расстоянии от линзы нужно поместить предмет, чтобы получить изображение в $\Gamma = 4$ раза больше предмета? Какую следует взять линзу? Модуль оптической силы линзы $D = 2{,}5$ дптр. Рассмотреть все возможные случаи.

15.199. На каком расстоянии d от линзы с модулем оптической силы $D = 2$ дптр нужно поместить предмет, чтобы получить изображение, уменьшенное в $n = 5$ раз? Охарактеризовать изображение. Какую следует взять линзу? Рассмотреть все возможные случаи.

15.200. С помощью собирающей линзы можно получить два изображения одного и того же предмета с одинаковым увеличением. Расстояния от предмета до линзы при получении таких изображений $d_1 = 60$ см и $d_2 = 20$ см. Определить фокусное расстояние линзы и увеличение предмета.

15.201. Расстояние от предмета до экрана $L = 90$ см. Где между ними надо поместить собирающую линзу, чтобы получить четкое изображение предмета? С каким увеличением оно получится? Фокусное расстояние линзы $F = 20$ см.

15.202. Перемещая собирающую линзу между предметом и экраном, нашли два положения, при которых линза дает на экране четкое изображение предмета. Найти высоту предмета h, зная, что высота первого изображения h_1, а высота второго изображения h_2.

15.203. Предмет находится на расстоянии $L = 80$ см от экрана. Между предметом и экраном перемещают линзу, причем при одном положении линзы на экране получается увеличенное изображение предмета, а при другом — уменьшенное. Каково фокусное расстояние линзы, если размеры первого изображения в $k = 9$ раз больше второго?

15.204. Предмет и экран зафиксированы в вертикальном положении на расстоянии $L = 60$ см друг от друга. Между ними находится собирающая линза, которая может перемещаться вдоль главной оптической оси. При одном положении линзы на экране получается изображение, увеличенное в $\Gamma = 3$ раза, при другом — уменьшенное в $n = 3$ раза. Определить расстояние между обоими положениями линзы.

15.205. Линза дает действительное изображение предмета с увеличением $\Gamma = 3$. Как изменится увеличение, если вдвое уменьшить оптическую силу линзы? Расстояние между предметом и линзой остается неизменным. Каким станет изображение?

15.206. Точка A и ее изображение A' расположены так, как показано на рисунке 15.66. OO' — главная оптическая ось. Найти фокусные расстояния тонких линз, с помощью которых получены изображения, если $l = 10$ см, а) $h = 3$ см, $H = 2$ см; б) $h = 2$ см, $H = 3$ см. Какие использованы линзы?

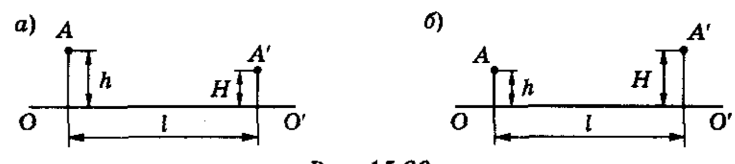


Рис. 15.66

15.207. Найти графически и аналитически положение предмета и его изображения в линзе, если известно, что: а) изображение имеет натуральную величину, фокусное расстояние линзы $F = 40$ см; б) изображение перевернутое, увеличенное в $\Gamma = 2$ раза, $F = 20$ см; в) изображение перевернутое, уменьшенное в $n = 1{,}5$ раза, $F = 30$ см; г) изображение прямое (неперевернутое), увеличенное в $\Gamma = 2{,}5$ раза, $F = 25$ см; д) изображение прямое, уменьшенное в $n = 3$ раза, $F = 15$ см.

С помощью какой линзы получено каждое изображение?

15.208. Расстояние от предмета до линзы и от линзы до изображения одинаковы и равны $d = 0{,}5$ м. Во сколько раз увеличится изображение, если предмет сместить на расстояние $\Delta d = 20$ см по направлению к линзе? Определить фокусное расстояние линзы.

15.209. Предмет расположен перпендикулярно главной оптической оси собирающей линзы и находится от нее на расстоянии $d = 2F$, где F — фокусное расстояние линзы. Во сколько раз изменится увеличение изображения предмета, если расстояние от предмета до линзы увеличить в $k = 2$ раза?

15.210. Предмет расположен перпендикулярно главной оптической оси собирающей линзы, при этом его изображение отстоит от линзы на расстоянии $f = 2F$. Как изменится это расстояние, если размер изображения увеличится в $k = 2$ раза?

15.211. С помощью линзы получено увеличенное в $\Gamma = 2$ раза действительное изображение плоского предмета. Если предмет сместить на $\Delta d = 2$ см в сторону линзы, то изображение сместится на $\Delta f = 12$ см. Определить фокусное расстояние линзы.

15.212. Предмет расположен на расстоянии $d = 1$ м от собирающей линзы, перпендикулярно ее главной оптической оси. На какое расстояние надо приблизить к линзе предмет, чтобы его действительное изображение увеличилось в $n = 5$ раз (по сравнению с первоначальным изображением)? Фокусное расстояние линзы $F = 75$ см.

15.213. *Собирающая линза дает действительное изображение предмета*, расположенного перпендикулярно главной оптической оси линзы, с увеличением $\Gamma = 4$ раза. Если предмет передвинуть на $\Delta d = 5$ см вдоль главной оптической оси, то увеличение уменьшится в $n = 2$ раза. Найти фокусное расстояние линзы. В какую сторону передвигается предмет?

15.214. Посередине между предметом и экраном, расстояние между которыми $2l = 100$ см, расположена собирающая линза. Если линзу придвинуть к предмету на расстояние $a = 20$ см, то на экране получится увеличенное изображение предмета. Если же ее отодвинуть от предмета на то же расстояние (считая от начального положения), то изображение будет уменьшенным. Определить фокусное расстояние линзы и увеличение изображения в обоих случаях.

15.215. Рассеивающая линза дает изображение некоторого отрезка AB, лежащего на главной оптической оси линзы, измененного в $n = 6$ раз. Что больше: длина отрезка или длина его изображения? Во сколько раз изменяется высота предмета, помещенного в точку A, если высота предмета, помещенного в точку B изменяется в $n_B = 2$ раза? Выполнить построения.

15.216°. Квадрат со стороной, равной фокусному расстоянию собирающей линзы, расположен так, как показано на рисунке 15.67. Центр квадрата расположен на главной оптической оси линзы OO' на расстоянии $2F$ от нее; стороны BC и AD параллельны главной оптической оси. Построить изображение квадрата. Найти отношение $\frac{A'B'}{C'D'}$ сторон изображения.

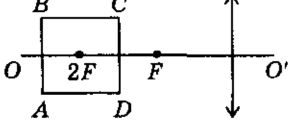


Рис. 15.67

15.217. Четыре точечных источника расположены в вершинах ромба *ABCD*, как показано на рисунке 15.68. Центр ромба находится на главной оптической оси линзы OO' на расстоянии $2F$ от тонкой собирающей линзы; две противоположные вершины — на главной оптической оси на расстоянии a и $(-a)$ от точки $2F$. Построить изображение ромба. Найти отношение площадей четырехугольников $A'B'C'D'$ и $ABCD$, где A', B', C', D' — изображения источников A, B, C, D. $F = 5$ см, $a = 3$ см.

15.218. Прямоугольный равнобедренный треугольник расположен, как показано на рисунке 15.69 (основание проходит через точку $\frac{F}{2}$ и перпендикулярно главной оптической оси линзы OO', вершина — в фокусе линзы). Построить изображение треугольника. Найти отношение площадей $\frac{S}{S'}$, где S' — площадь изображения треугольника.

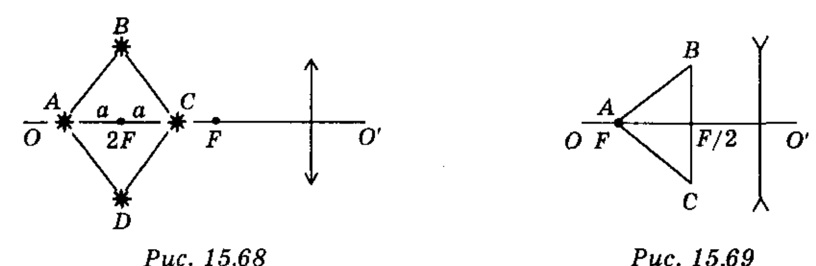


Рис. 15.68 *Рис. 15.69*

15.219°. Построить изображение отрезка *AB* в собирающей линзе с фокусным расстоянием *F*, расположенного параллельно главной оптической оси линзы OO' на расстоянии h от нее (рис. 15.70). Определить тангенс угла наклона изображения $A'B'$ к оси OO' и отношение длины изображения к длине отрезка, если $AB = h = \frac{F}{2}$.

15.220°. На рисунке 15.71, *а* показано положение предмета *AB* относительно собирающей линзы (α — постоянная). Построить изображение предмета; показать, что угол β между ним и главной оптической осью равен углу β' между изображением предмета и главной оптической осью; найти отношение длин изображения и предмета. Как изменится ответ, если расположение предмета соответствует рисунку 15.71, *б*?

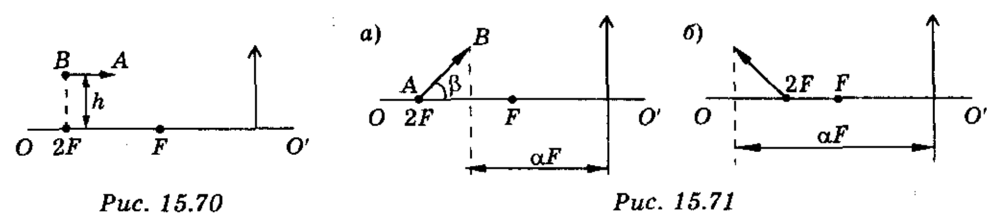


Рис. 15.70 *Рис. 15.71*

Механика в оптике

15.221. Изображение Луны, даваемое линзой, находится на расстоянии $f = 0{,}22$ м от линзы и имеет диаметр $D = 2$ мм. Вычислить по этим данным период обращения Луны вокруг Земли. Считать известными радиус Луны, радиус Земли, ускорение свободного падения вблизи поверхности Земли.

15.222. Точка движется со скоростью $v = 1$ м/с перпендикулярно главной оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 20$ см, пересекая оптическую ось на расстоянии $d = 60$ см от линзы. С какой скоростью движется изображение точки?

15.223. Изображение светящейся точки движется по экрану, перпендикулярному главной оптической оси линзы, со скоростью $u = 0{,}08$ м/с. Чему равна оптическая сила линзы, с помощью которой получают изображение, если расстояние от линзы до экрана $f = 1{,}25$ м, а скорость движения точки $v = 0{,}02$ м/с?

15.224. Точечный источник света движется по окружности со скоростью $v = 3$ см/с вокруг главной оптической оси собирающей линзы в плоскости, перпендикулярной к этой оси и отстоящей от линзы на расстоянии $d = 1{,}5F$, где F — фокусное расстояние линзы. В каком направлении и с какой скоростью движется изображение источника света?

15.225. Собирающую линзу перемещают перпендикулярно главной оптической оси с постоянной скоростью v. С какой скоростью u движется изображение неподвижной точки, первоначально расположенной на оптической оси на расстоянии от оптического центра линзы $d_1 = 3F$, $d_2 = 2F$, $d_3 = 1{,}5F$?

15.226. Линза начинает колебаться в плоскости, перпендикулярной главной оптической оси, с частотой $\omega = 10\ с^{-1}$ и амплитудой $A = 1$ см. При этом максимальная скорость движения изображения неподвижной точки, находившейся в момент начала движения на главной оптической оси линзы на расстоянии $L = 1$ м от экрана $u_m = 0{,}4$ м/с. Найти расстояние от точки до экрана и оптическую силу линзы.

15.227. Маленькая линза с фокусным расстоянием $F = 20$ см подвешена в точке A на нитях так, что расстояние от точки A до оптического центра линзы $d = 25$ см. Подвес отклоняют до горизонтального положения и отпускают (рис. 15.72). С какой скоростью и с каким ускорением будет двигаться изображение точки A в тот момент, когда линза проходит нижнее положение?

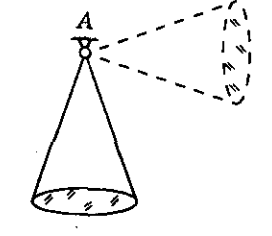


Рис. 15.72

15.228. Светящаяся точка равномерно движется вдоль оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием F = 20 см. Во сколько раз средняя скорость перемещения изображения $u_{ср}$ больше скорости перемещения точки v, если расстояние от линзы до точки изменяется в пределах: а) d_1 = 21 см, d_2 = 25 см; б) d_1 = 38 см, d_2 = 42 см; в) d_1 = 60 см, d_2 = 64 см?

15.229°. Предмет приближают к линзе вдоль главной оптической оси со скоростью v = 0,2 м/с. Чему равна скорость перемещения действительного изображения предмета в моменты, когда его увеличение равно Γ_1 = 0,5; Γ_2 = 1; Γ_3 = 2? В какую сторону перемещается изображение?

15.230°. В некоторый момент времени относительная скорость перемещения предмета и его изображения вдоль главной оптической оси собирающей линзы в n = 8 раз превосходит скорость движения предмета. Чему равно в этот момент расстояние f между линзой и изображением предмета, d — между линзой и предметом? Фокусное расстояние линзы F.

15.231°. Собирающую линзу удаляют от предмета со скоростью v, направленной вдоль главной оптической оси линзы. С какой скоростью u движется изображение предмета? Чему равна скорость u в моменты времени, когда линза удалена от предмета на расстояния d_1 = 1,5F; d_2 = 2F; d_3 = 2,5F, где F — фокусное расстояние линзы?

15.232°. Изображение S' движущейся точки S удаляется от линзы вдоль побочной оптической оси с постоянной скоростью u (рис. 15.73). Чему равна скорость v точки S в моменты времени, когда проекция изображения S' на главную оптическую ось проходит отметки: 1,5F; 2F; 2,5F? На каком расстоянии h от главной оптической оси находится в эти моменты точка S, если побочная ось составляет с главной осью угол $\alpha = \dfrac{\pi}{30}$?

15.233*. Светящаяся точка движется со скоростью v параллельно главной оптической оси тонкой собирающей линзы, на расстоянии h от нее (рис. 15.74). Найти мгновенную скорость u движения изображения точки, как функцию расстояния d от линзы до точки. Фокусное расстояние линзы F.

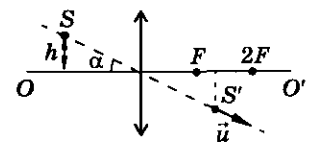


Рис. 15.73

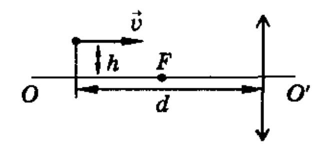


Рис. 15.74

15.234*. Вдоль главной оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 5$ см движутся навстречу друг другу два светлячка, находящиеся по разные стороны линзы. Скорость светлячков одна и та же — $v = 2$ см/с. Через какое время первый светлячок встретится с изображением второго, если в начальный момент они находились на расстояниях $l_1 = 20$ см и $l_2 = 15$ см от линзы?

15.235. Небольшой шарик, подвешенный на нити длиной l, вращают в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси, проходящей через точку подвеса. Под шариком, на расстоянии d от плоскости вращения, закреплена собирающая линза с фокусным расстоянием F ($F < d$) так, что ее главная оптическая ось совпадает с осью вращения шарика. Найти угловую скорость шарика, если его изображение вращается по окружности радиусом R.

15.236°. Небольшое тело находится на горизонтальной поверхности. Над ним расположена собирающая линза с фокусным расстоянием F (рис. 15.75). Расстояние между линзой и телом d ($d > F$). Телу сообщают скорость v, направленную перпендикулярно оптической оси линзы. Пройдя некоторое расстояние, тело останавливается. Найти коэффициент трения тела о поверхность, если изображение тела, полученное при помощи линзы, прошло путь s.

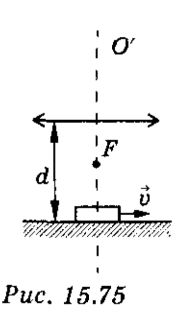


Рис. 15.75

15.237°. Материальная точка массой m колеблется вдоль главной оптической оси собирающей линзы под действием вынуждающей силы $f = f_0 \cdot \sin \omega t$. Положение равновесия находится на расстоянии $2F$ от линзы. Найти размах колебаний Δx изображения и средние скорости движения изображения от положения равновесия до крайних точек.

Прохождение лучей сквозь линзу и жидкость

15.238°. В широкий плоский сосуд с водой помещена линза, фокусное расстояние которой в воде $F = 4$ см. Линза расположена горизонтально на расстоянии 4 см от дна сосуда. Поверхность воды освещают рассеянным светом. Найти диаметр светлого пятна на дне сосуда.

15.239. На поверхности жидкости, налитой в стакан, плавает плоско-выпуклая линза с фокусным расстоянием F (рис. 15.76). Найти высоту h жидкости в стакане, если изображение точечного источника света S,

расположенного на расстоянии l от линзы на ее оси, находится на дне стакана. Показатель преломления жидкости равен n. Расстояние l много больше диаметра стакана.

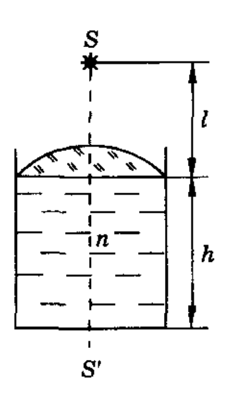


Рис. 15.76

15.240. Точечный источник света находится на глубине $h = 10$ см. С помощью собирающей линзы получают уменьшенное изображение освещенной поверхности жидкости на экране, отстоящем от нее на расстоянии $l = 100$ см. Фокусное расстояние линзы $F = 16$ см. Определить радиус освещенного пятна на экране. Показатель преломления жидкости $n = 1{,}3$.

15.241. Протяженный источник света находится под водой на глубине $h = 15$ см. С помощью линзы с фокусным расстоянием $F = 20$ см получают его изображение на экране, расположенном над водой параллельно ее поверхности. Величина изображения равна величине источника. На каком расстоянии от поверхности воды находится линза? Углы падения и преломления на границе сред считать малыми.

Оптические системы

15.242. Собирающая линза Л1 дает в точке S_1 действительное изображение источника S, расположенного на оптической оси линзы. Между линзой Л1 и изображением S_1 поставлена рассеивающая линза Л2, положения фокусов которой заданы (рис. 15.77). Расстояние между S_1 и Л2 больше фокусного расстояния линзы Л2. Найти построением новое положение изображения источника.

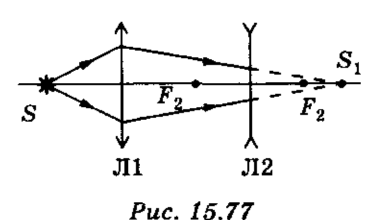


Рис. 15.77

15.243. Две линзы — собирающая с фокусным расстоянием $F_1 = 30$ см и рассеивающая с фокусным расстоянием $F_2 = 10$ см — расположены так, что их главные оптические оси совпадают. При этом линзы преобразуют параллельный пучок световых лучей в параллельный же пучок другого диаметра. а) Определить расстояние между линзами; отношение диаметров входящего и выходящего пучков. б) Как изменится ответ, если лучи будут падать со стороны рассеивающей линзы?

15.244. Две собирающие линзы имеют общую главную оптическую ось и находятся на расстоянии $l = 45$ см друг от друга. Известно, что параллельный пучок световых лучей, проходящий через данную систему,

остается параллельным, а площадь его сечения увеличивается в $n = 4$ раза. Найти фокусные расстояния линз. Можно ли изменить площадь пучка, оставляя его параллельным, если использовать две рассеивающие линзы?

15.245°. Имеется N собирающих линз с фокусным расстоянием F и N рассеивающих линз с фокусным расстоянием $\frac{F}{2}$. Линзы установлены поочередно так, что расстояние между соседними линзами равно $\frac{F}{2}$ (рис. 15.78). Вдоль оси в систему входит параллельный пучок света диаметром D. Найти диаметр выходящего пучка.

15.246. На пути параллельного пучка лучей света ставят собирающую линзу, а за линзой экран. И линза и экран перпендикулярны оси пучка. На экране образуется светлая точка, если он находится на расстоянии $f_1 = 30$ см от линзы. Вплотную к первой линзе приставляют вторую: а) собирающую линзу с фокусным расстоянием $F_2 = 20$ см; б) рассеивающую линзу с фокусным расстоянием $F_2 = 40$ см. Где нужно поставить экран, чтобы на нем снова образовалась светлая точка?

15.247. Из плоскопараллельной стеклянной пластинки изготовили три линзы (рис. 15.79). Оказалось, что фокусное расстояние линз *1* и *2*, сложенных вместе, равно $(-F)$, а фокусное расстояние линз *2* и *3*, сложенных вместе, равно $(-f)$. Предполагая, что линзы тонкие, найти фокусное расстояние каждой из трех линз.

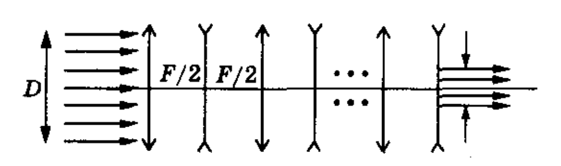


Рис. 15.78

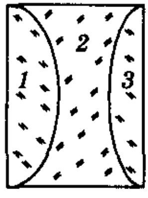


Рис. 15.79

15.248. Собирающая линза с оптической силой $D_1 = 2{,}5$ дптр сложена вплотную с рассеивающей линзой с главным фокусным расстоянием $F_2 = 0{,}5$ м так, что их оптические оси совпадают. Определить положение предмета, помещенного перед линзами, если его изображение отстоит от линз на расстоянии $f = 0{,}5$ м. Какое получается изображение?

15.249. Линза дает изображение стрелки, перпендикулярное главной оптической оси линзы и расположенное на расстоянии $d = 30$ см от нее, увеличенное в $\Gamma_1 = 2$ раза. Вплотную к данной линзе прикладывают вторую линзу с модулем оптической силы $D_2 = 1$ дптр. С каким увеличе-

нием Γ_2 получается изображение стрелки, если: а) вторая линза собирающая; б) вторая линза рассеивающая? Положение стрелки относительно линзы не меняется.

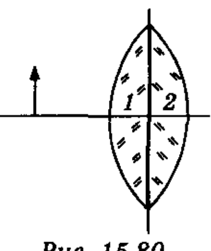


Рис. 15.80

15.250. Предмет расположен на главной оптической оси системы линз (рис. 15.80). Если оставить только линзу *1*, то увеличение предмета $\Gamma_1 = 2$, а если оставить только линзу *2*, то увеличение $\Gamma_2 = 3$. Какое увеличение дают эти линзы вместе?

15.251. *Две собирающие линзы с оптическими силами* $D_1 = 5$ дптр и $D_2 = 2$ дптр расположены на расстоянии $l = 30$ см друг от друга. На каком расстоянии от задней линзы получится изображение бесконечно удаленного источника, даваемое системой, если свет источника попадает сначала на линзу: а) с оптической силой D_1; б) с оптической силой D_2? Какое получится изображение? Задачу решить аналитически и графически.

15.252. Две линзы с фокусными расстояниями $F_1 = 10$ см и $F_2 = 15$ см расположены на расстоянии $l = 30$ см друг от друга. Где следует расположить точечный источник света, чтобы идущие от него лучи после прохождения обеих линз образовали пучок, параллельный главной оптической оси? Задачу решить для случаев: а) обе линзы собирающие; б) первая линза собирающая, вторая — рассеивающая. Решение проиллюстрировать построением. Можно ли получить при данном расстоянии между линзами параллельный пучок, если первая линза рассеивающая?

15.253. Оптическая система состоит из двух собирающих линз, расположенных на расстоянии $l = 0{,}75$ м друг от друга (рис. 15.81). Наблюдателю, смотрящему справа, источник S, помещенный на главной оптической оси на расстоянии $d_1 = 0{,}25$ м от первой линзы, кажется удаленным на очень большое расстояние. Чему равна оптическая сила второй линзы, если оптическая сила первой линзы $D_1 = 6$ дптр?

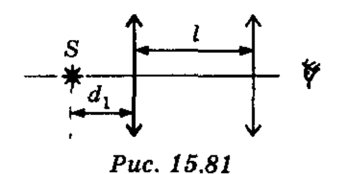


Рис. 15.81

15.254. Оптическая система из двух линз с фокусными расстояниями $F_1 = 20$ см и $F_2 = 40$ см преобразует пучок лучей, идущих от точечного источника, расположенного на главной оптической оси, на расстоянии $d_1 = 30$ см от первой линзы, в пучок лучей, параллельный главной оптической оси. На каком расстоянии друг от друга расположены линзы, если: а) обе линзы собирающие; б) передняя линза собирающая, а задняя — рассеивающая; в) передняя линза рассеивающая, а задняя — собирающая?

15.255. Изображение удаленного источника света, полученное с помощью линзы, фокусное расстояние которой $F_1 = 20$ см, проектируется на экран. Между линзой и источником света помещают вторую линзу с фокусным расстоянием $F_2 = 30$ см, причем расстояние между линзами $l = 10$ см. На сколько и куда следует передвинуть экран, чтобы восстановить резкость изображения, если: а) вторая линза собирающая; б) вторая линза рассеивающая?

15.256. Линзы с оптическими силами $D_1 = 4$ дптр и $D_2 = 5$ дптр находятся на расстоянии $l = 0{,}9$ м друг от друга. Где находится изображение предмета, расположенного на расстоянии $d_1 = 0{,}5$ м перед первой линзой? Охарактеризовать изображение. Выполнить построение.

15.257. Две собирающие линзы с одинаковыми фокусными расстояниями F имеют общую главную оптическую ось и расположены одна в фокусе другой. На расстоянии d_1 от системы линз на ее оси находится источник света. Найти положение изображения источника. Рассмотреть три возможных случая: а) $d_1 > F$; б) $d_1 = F$; в) $d_1 < F$. В каждом случае выполнить построение.

15.258°. Две собирающие линзы с одинаковыми фокусными расстояниями $F = 30$ см находятся друг от друга на расстоянии $l = 15$ см. При каких положениях предмета система дает его действительное изображение? Предмет находится на главной оптической оси, общей для обеих линз.

15.259°. Две собирающие линзы с фокусными расстояниями F и $3F$ расположены на расстоянии $2F$ друг от друга. На их общей главной оптической оси со стороны короткофокусной линзы находится предмет. При каких положениях предмета оптическая система дает прямое изображение?

15.260°. Две собирающие линзы с фокусными расстояниями F и $2F$ имеют общую главную оптическую ось, причем вторая линза находится в фокусе первой. На каком расстоянии d_1 перед первой линзой следует расположить источник, чтобы его изображение оказалось на таком же расстоянии за другой линзой ($f_2 = d_1$)?

15.261°. Две собирающие линзы с фокусными расстояниями $F_1 = 10$ см и $F_2 = 15$ см дают изображение предмета высотой $h = 1$ см, расположенного на расстоянии $d_1 = 10$ см от первой линзы. Найти высоту изображения предмета, даваемого системой линз. Построить изображение.

15.262. Плоскую поверхность плоско-выпуклой линзы, фокусное расстояние которой равно F, посеребрили. Найти фокусное расстояние $F_з$ получившегося зеркала.

15.263. Плоско-вогнутая линза с фокусным расстоянием F имеет посеребренную плоскую поверхность. Источник света находится на оптической оси на расстоянии a от вогнутой стороны линзы. Построить ход лучей в данной оптической системе.

15.264. Предмет расположен на оптической оси собирающей линзы. По другую сторону линзы вплотную к ней расположено плоское зеркало, перпендикулярное оптической оси линзы. Действительное изображение предмета находится на расстоянии $2F$ от линзы. Определить увеличение предмета.

15.265. Предмет расположен перед тонкой собирающей линзой на расстоянии d от нее ($F \leqslant d \leqslant 2F$, где F — фокусное расстояние). За линзой, в ее фокусе, перпендикулярно главной оптической оси расположено плоское зеркало. Найти графически и аналитически положение изображения. Рассмотреть отдельно случаи: $d = F$ и $d = 2F$.

15.266. Фокусное расстояние тонкой собирающей линзы $F = 10$ см. Предмет расположен на расстоянии $d = 15$ см от линзы. По другую сторону от нее перпендикулярно оптической оси на расстоянии $l = 20$ см находится плоское зеркало. Определить положение изображения и построить его.

15.267. Предмет находится на оси собирающей линзы с фокусным расстоянием F на расстоянии $2F$ от нее (рис. 15.82). По другую сторону от линзы, перпендикулярно ее оси расположено плоское зеркало. Расстояние от зеркала до линзы, равно $\frac{3}{2}F$. На каком расстоянии f от линзы образуется действительное изображение предмета и каково будет увеличение линзы Г?

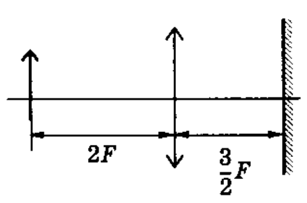


Рис. 15.82

15.268. Источник света расположен на главной оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 30$ см. Расстояние от источника до линзы $d = 90$ см. За линзой перпендикулярно оптической оси помещено плоское зеркало. На каком расстоянии от линзы оно находится, если лучи, отраженные от зеркала, пройдя вторично через линзу, образуют параллельный пучок?

15.269. На рассеивающую линзу падает параллельный пучок лучей от удаленного источника, расположенного на оптической оси. На расстоянии x за линзой перпендикулярно ее оптической оси расположено плоское зеркало. После прохождения лучей через линзу, отражения от зеркала и вторичного прохождения через линзу образуется мнимое изображение, расположенное между линзой и зеркалом на расстоянии $\frac{3}{4}x$ от линзы. Определить фокусное расстояние линзы.

15.270°. Плоское зеркало расположено на расстоянии $d = 25$ см от собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 10$ см. Угол между оптической осью и зеркалом $\alpha = 60°$ (рис. 15.83). На зеркало вертикально падает луч света, который после отражения проходит через линзу. Под каким углом к оптической оси луч будет идти после линзы? Сделать построение.

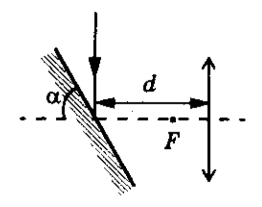


Рис. 15.83

15.271°. Плоское зеркало расположено на расстоянии $d = \frac{2F}{3}$ от собирающей линзы, где F — ее фокусное расстояние. Угол между главной оптической осью и зеркалом $\alpha = 45°$ (рис. 15.84). На зеркало падает тонкий вертикальный луч света, который после отражения проходит через линзу. Зеркало поворачивают на угол $\alpha = 15°$ в направлении, показанном на рисунке. На какой угол поворачивается при этом преломленный луч?

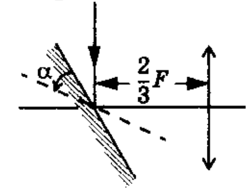


Рис. 15.84

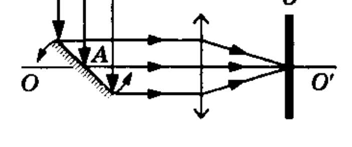


Рис. 15.85

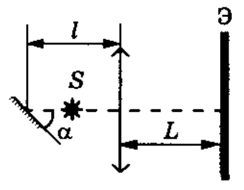


Рис. 15.86

15.272. На главной оптической оси OO' собирающей линзы расположено плоское зеркало, вращающееся с угловой скоростью $\omega = 0{,}2$ рад/с вокруг оси, проходящей через точку A и перпендикулярной плоскости рисунка (рис. 15.85). На зеркало падает параллельный пучок света, который после отражения фокусируется на экране. Найти скорость светового пятна на экране в момент, когда оно пересекает главную оптическую ось. Плоскость экрана перпендикулярна этой оси. Фокусное расстояние линзы $F = 25$ см.

15.273°. На оси собирающей линзы диаметром $D = 2$ см расположен точечный источник света S (рис. 15.86). Расстояние от источника до линзы равно ее фокусному расстоянию $F = 10$ см. Перед источником на расстоянии $l = 20$ см от линзы находится маленькое плоское зеркало, наклоненное под углом $\alpha = 45°$ к оси линзы. По другую сторону от линзы на расстоянии $L = 20$ см от нее расположен экран. Какая картина будет наблюдаться на экране?

15.274°. Оптическая система состоит из линзы с фокусным расстоянием F и зеркального шарика радиусом R (рис. 15.87). Определить расстояние от линзы до источника S, если изображение источника совпадает с ним, и расстояние от линзы до центра шарика d.

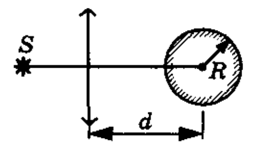


Рис. 15.87

15.275. С помощью собирающей линзы получено изображение предмета на экране. Между линзой и экраном помещают плоскопараллельную пластинку толщиной h = 3 см с показателем преломления n = 1,5. В каком направлении и на сколько нужно сдвинуть экран, чтобы снова получить отчетливое изображение предмета? Угол падения лучей на пластинку считать малым.

15.276°. Параллельный пучок света с помощью собирающей линзы фокусируется на экран, образуя на нем пятно диаметром d. Если между линзой и экраном поставить плоскопараллельную стеклянную пластину толщиной h и показателем преломления n, то диаметр светлого пятна на экране увеличится. Во сколько раз η возрастает площадь светового пятна, если диаметр линзы D, а ее фокусное расстояние F?

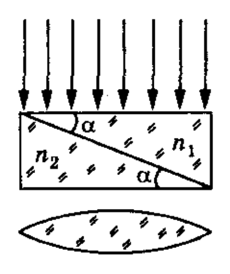


Рис. 15.88

15.277°. Параллельный пучок света падает на систему из двух стеклянных клиньев с показателями преломления n_1, n_2 и тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием F (рис. 15.88). Определить, в какой точке соберутся лучи. Угол α считать малым.

Лупа[1]

15.278. Каковы пределы углового увеличения[2] лупы с оптической силой D = 16 дптр для человека с нормальным зрением (d_0 = 25 см)?

15.279. На ободке лупы имеется надпись «× 10», т. е. лупа увеличивает угловой размер рассматриваемого объекта в 10 раз. При этом предполагается, что объект расположен почти в фокальной плоскости лупы («лупа часовщика»). Определить фокусное расстояние данной лупы.

15.280. Лупа находится на расстоянии b = 5 см от глаза, изображение — на расстоянии d_0 = 25 см. На каком расстоянии a от глаза расположен предмет, если фокусное расстояние лупы F = 2 см? Чему равно угловое увеличение предмета K?

---

[1] Лупа — короткофокусная собирающая линза $F \sim 10 \div 100$ мм, которая служит для получения увеличенных мнимых изображений предмета. При этом изображение находится от глаза в пределах от d_0 — расстояния наилучшего зрения до бесконечности. Обычно лупу располагают непосредственно перед глазом.

[2] Угловым увеличением K оптического инструмента называют отношение тангенсов углов, под которым виден предмет вооруженным и невооруженным глазом.

15.281. Расстояние от предмета до его изображения, даваемого лупой, $l = 12$ см. Фокусное расстояние лупы $F = 3$ см. Определить увеличение лупы.

15.282. С помощью лупы получают изображение предмета, увеличенное в $\Gamma_1 = 4$ раза. Найти линейное увеличение лупы, если: а) расстояние от лупы до предмета уменьшить вдвое; б) расстояние от фокуса до предмета уменьшить вдвое.

Глаз. Очки

15.283°. Среднее расстояние от хрусталика глаза до сетчатки $f = 18{,}3$ мм. Найти максимальную и минимальную оптическую силу хрусталика глаза человека с нормальным зрением. Когда хрусталик глаза становится более выпуклым: когда глаз фиксирован на близкий предмет или на далекий?

15.284. Почему пловец под водой надевает очки из сильно преломляющего стекла?

15.285. Каким дефектом зрения обладает человек, который в воде видит хорошо?

15.286. Дальнозоркий человек не испытывает дискомфорта, глядя на предметы, расположенные от его лица на расстоянии не менее одного метра. Какой оптической силы очки для чтения ему необходимы?

15.287. а) Близорукий человек отчетливо видит предметы, расположенные от его глаз на расстоянии не более $d = 20$ см. Какие очки для дали он использует? б) Забыв очки, человек читает газету, приближая текст к глазам на расстояние $d = 16$ см. Какие очки для чтения он использует?

15.288. Пределы аккомодации глаза близорукого человека лежат между $d_1 = 16$ см и $d_2 = 80$ см. В очках он хорошо видит удаленные предметы. На каком минимальном расстоянии он может держать книгу при чтении в тех же очках?

15.289. Человек с нормальным зрением начинает смотреть сквозь очки с оптической силой $D = 5$ дптр. Между какими двумя предельными положениями должен быть расположен рассматриваемый объект, чтобы его было видно без напряжения глаз?

15.290. Дальнозоркий человек использует для дали очки оптической силы $D = 2$ дптр. Минимальное расстояние, на котором он хорошо

видит в тех же очках, $d_1 = 50$ см. Очки какой оптической силы для чтения он использует?

15.291. Человек для чтения текста надевает очки оптической силы $D = -4$ дптр. На каком расстоянии ему удобно расположить плоское зеркало, чтобы видеть в нем свое лицо, не надевая очков?

15.292. Близорукий человек без очков рассматривает предмет, находящийся в воде. Оказалось, что если глаз расположен вблизи поверхности воды, то максимальное погружение предмета, при котором человек отчетливо видит его детали, $l = 30$ см. Какие очки следует носить этому человеку?

15.293. Два наблюдателя: дальнозоркий и близорукий — рассматривают предметы при помощи одинаковых луп, помещая глаз на одинаковом расстоянии от этих луп. Какому из наблюдателей приходится помещать рассматриваемый предмет ближе к лупе? Ответ обосновать расчетом.

Фотоаппарат

15.294. Демонстрация кинофильма происходит в зале, длина которого $L = 20$ м. Экран имеет размеры $a \times b = 3{,}6 \cdot 4{,}8$ м^2. Определить фокусное расстояние объектива F и расстояние d, на котором пленка находится от объектива. Размеры кадра пленки $c \times d = 18 \times 24$ мм^2.

15.295. Фотоаппарат сфокусирован на бесконечность. На каком минимальном расстоянии d от объектива должен находиться предмет для того, чтобы его изображение на пленке было резким? Изображение считается резким, если размытие его деталей не превышает $\delta = 0{,}1$ мм. Фокусное расстояние объектива $F = 50$ мм, его диаметр — $D = 25$ мм.

15.296. При фотографировании очень далеких предметов расстояние между объективом фотоаппарата и пленкой $l = 50$ мм. С какого минимального расстояния d_{min} можно фотографировать этим аппаратом, если ход объектива $x = 2$ мм?

15.297. В каких пределах должен перемещаться объектив фотоаппарата (расстояние от пленки до объектива) с фокусным расстоянием $F = 10$ см, чтобы обеспечить наводку на резкость в пределах от $d = 1$ м до бесконечности? Чему равен ход объектива?

15.298. С самолета, летящего на высоте $h_1 = 2000$ м, производится фотографирование местности с помощью фотоаппарата с фокусным расстоянием $F = 50$ см. Каков размер изображения на пленке? Какая фотографируемая площадь охватывается одним кадром размером 18×18 см^2? Как изменится ответ, если самолет снизится до высоты $h_2 = 1000$ м?

15.299. Изображение предмета на матовом стекле фотоаппарата при фотографировании с расстояния $d_1 = 15$ м получилось высотой $h_1 = 30$ мм, а с расстояния $d_2 = 9$ м — высотой $h_2 = 51$ мм. Найти фокусное расстояние объектива.

15.300. В течение какого времени t может быть открыт затвор фотоаппарата при съемке прыжка в воду с вышки? Фотографируется момент погружения в воду. Высота вышки $h = 5$ м, фотограф находится на расстоянии $d = 10$ м от вышки. Фокусное расстояние объектива аппарата $F = 10$ см, на негативе допустимо размытие изображения $\Delta x = 0,5$ мм.

15.301. Предметы каких размеров можно рассмотреть на фотографии, сделанной со спутника, летящего по круговой орбите вокруг Земли на высоте $H = 100$ км, если минимальный размер различимых деталей изображения на фотопленке (разрешающая способность пленки) $\Delta x = 0,01$ мм? Фокусное расстояние объектива фотоаппарата $F = 10$ см. Каким должно быть время экспозиции, чтобы полностью использовались возможности пленки?

15.302. Из-за конечной разрешающей способности пленки при фотографировании достаточно резко получаются предметы, находящиеся от фотоаппарата на расстояниях от $d_1 = 7,5$ м до $d_2 = 15$ м (ближняя и дальняя границы глубины резкости). На каком расстоянии d_0 находится предмет, на который наведен объектив фотоаппарата?

Микроскоп[1]

15.303. Получить приближенную формулу увеличения микроскопа, считая известными фокусные расстояния объектива $F_{об}$, окуляра $F_{ок}$, длину тубуса L и расстояние наилучшего зрения d_0. При каких условиях она применима?

15.304. Объектив микроскопа имеет фокусное расстояние $F_{об} = 3$ мм, а окуляр — фокусное расстояние $F_{ок} = 50$ мм. Расстояние между объективом и окуляром $L = 135$ мм, расстояние от предмета до объектива $d = 3,1$ мм. Найти линейное увеличение микроскопа. Построить ход лучей в нем. На каком расстоянии от глаза получается изображение?

---

[1] Простейший микроскоп — это две короткофокусные линзы: объектив (с фокусным расстоянием порядка нескольких миллиметров), дающий действительное увеличенное изображение предмета, и окуляр, действующий подобно лупе, т. е. дающий мнимое увеличенное изображение на расстоянии наилучшего зрения d_0.

15.305. Найти фокусное расстояние объектива микроскопа, если известно, что фокусное расстояние окуляра $F_{ок} = 1{,}25$ см, его увеличение $\Gamma = 1200$, предмет находится от объектива на расстоянии $d = 6{,}1$ мм для человека с нормальным зрением.

15.306. Фокусное расстояние объектива микроскопа $F_1 = 0{,}3$ см, длина тубуса $L = 15$ см, увеличение $\Gamma = 2500$. Найти фокусное расстояние F_2 окуляра. Расстояние наилучшего зрения $d_0 = 25$ см.

Телескоп[1]

15.307. На каком минимальном расстоянии должны быть помещены на Луне два ярких источника света для того, чтобы их можно было видеть в телескоп раздельно? Фокусные расстояния объектива и окуляра $F_{об} = 8$ м и $F_{ок} = 1$ см. Человеческий глаз может видеть раздельно два предмета, наблюдаемые под углом не менее $\varphi_{min} = 0{,}001$ рад. Расстояние от Земли до Луны $R_{ЛЗ} = 3{,}8 \cdot 10^8$ м.

15.308. Фокусное расстояние объектива телескопа $F_{об}$. Во сколько раз изменится угловое увеличение телескопа при наблюдении объектов, удаленных от него на конечное расстояние d?

15.309. Фокусное расстояние объектива телескопа $F_{об} = 1$ м. В телескоп рассматривают здание, находящееся на расстоянии $d = 1$ км. В каком направлении и на сколько нужно передвинуть окуляр, чтобы получить резкое изображение в двух случаях: а) если после здания будут рассматривать Луну; б) если будут рассматривать близкие предметы, находящиеся на расстоянии $d_0 = 100$ м? Как при этом меняется угловое увеличение?

15.310. Зритель смотрит на сцену, находящуюся на расстоянии $d = 15$ м от него, через бинокль. Фокусные расстояния линз бинокля равны $F_{об} = 20$ см и $F_{ок} = -5$ см. На какое расстояние должны быть расставлены линзы, чтобы зритель наиболее ясно видел сцену? Каково угловое увеличение бинокля в данном случае?

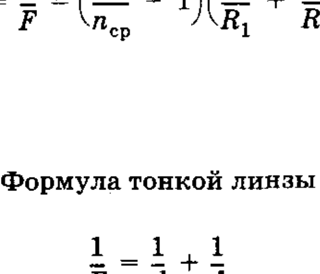
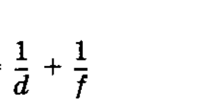
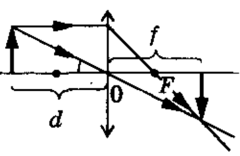
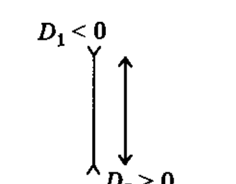
---

[1] Астрономическая труба Кеплера (рефрактор, телескоп, зрительная труба) — это две собирающие линзы: длиннофокусный объектив и короткофокусный окуляр, действующий как лупа. Длина зрительной трубы приблизительно равна сумме фокусных расстояний $L \approx F_{об} + F_{ок}$, угловое увеличение — их отношению — $K \approx \dfrac{F_{об}}{F_{ок}}$.

Оптика

Таблица 15

Формулы	Обозначения	Единицы измерения
Закон отражения света $\alpha = \alpha'$	α, α_1 — углы падения и отражения соответственно	1°
Сферическое зеркало $D = \frac{1}{F} = \frac{2}{R}$;	D — оптическая сила F — фокусное расстояние R — радиус кривизны зеркала d — расстояние от предмета до полюса f — расстояние от полюса до изображения	1 дптр 1 м 1 м 1 м 1 м
$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$		
Закон преломления света $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$	β — угол преломления n_{21} — относительный показатель преломления второй среды относительно первой n_2, n_1 — абсолютные показатели преломления второй и первой сред соответственно	1°

Полное внутреннее отражение, если $n_1 > n_2$, то $\alpha > \alpha_0$, где $\sin\alpha_0 = \dfrac{n_2}{n_1}$		α_0 — предельный угол полного внутреннего отражения	1°
Оптическая сила тонкой линзы $D = \dfrac{1}{F} = \left(\dfrac{n_л}{n_{ср}} - 1\right)\left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}\right)$		R_1, R_2 — радиусы кривизны линзы	1 м
Формула тонкой линзы $\dfrac{1}{F} = \dfrac{1}{d} + \dfrac{1}{f}$		d — расстояние от предмета до оптического центра линзы f — расстояние от оптического центра линзы до изображения	1 м 1 м
Оптическая сила двух тонких линз, сложенных вплотную $D = D_1 + D_2$			

Оптика

Окончание таблицы 15

Формулы	Обозначения	Единицы измерения
Лупа Увеличение а) линейное $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{\lvert f \rvert}{d} \approx \frac{d_0}{F}$; б) угловое $K = \frac{\mathrm{tg}\, i}{\mathrm{tg}\, i_1}$	Г — линейное увеличение H, h — высоты изображения и предмета соответственно d_0 — расстояние наилучшего зрения K — угловое увеличение i, i_1 — углы, под которыми виден предмет вооруженным и невооруженным глазом	 1 м 25 см 1°
Микроскоп $\Gamma = \frac{\delta d_0}{F_{об} \cdot F_{ок}}$; $L = F_{об} + \delta + F_{ок}$	δ — расстояние между задним фокусом объектива и передним фокусом окуляра L — расстояние от объектива до окуляра	1 м 1 м
Телескоп $K = \frac{F_{об}}{F_{ок}}$; $L = F_{об} + F_{ок}$ а) труба Кеплера; б) труба Галилея		

16. Фотометрия*

16.1*. Центральный телесный угол $\omega = 0{,}75$ ср вырезает на поверхности шара площадь $S = 468$ см^2. Определить радиус шара.

16.2*. Какой световой поток испускает точечный источник света силой $J = 25$ кд внутрь телесного угла $\omega = 0{,}64$ ср?

16.3*. На круглое матовое стекло диаметром $d = 0{,}45$ м падает нормально световой поток $\Phi = 120$ лм. Какова освещенность этого стекла?

16.4*. Поверхность площадью $S = 10$ см^2 расположена перпендикулярно лучу света, проходящему через ее середину. Поверхность находится на расстоянии $r = 2$ м от точечного источника, сила света которого $J = 200$ кд. Определить световой поток, падающий на нее.

16.5*. Определить среднюю силу света лампы накаливания мощностью $P = 120$ Вт, если ее световая отдача[1] $\alpha = 13$ лм/Вт. (Лампу можно считать точечным источником.)

16.6*. Освещенность рабочего места для ювелирных работ, согласно нормам, должна быть не менее $E = 100$ лк. На какой минимальной высоте от рабочего места должна быть помещена лампа, сила света которой $J = 100$ кд?

16.7*. Точечный источник света освещает экран, расположенный на расстоянии $r = 1$ м. Силу света источника уменьшили в $n = 2$ раза. На сколько нужно приблизить экран, чтобы освещенность его не изменилась?

16.8*. Между двумя экранами нужно поставить источник света так, чтобы освещенность левого экрана была вдвое больше освещенности правого. На каком расстоянии x от левого экрана нужно поставить источник света, если расстояние между экранами $l = 100$ см?

16.9*. На столбе высотой $h = 6$ м висит лампа, сила света которой $J = 400$ кд. Вычислить освещенность поверхности земли на расстоянии $l = 8$ м от основания столба.

16.10*. Лампа, сила света которой $J_1 = 60$ кл, применяется для печатания фотоснимка. Если лампу расположить на расстоянии $r_1 = 1{,}5$ м от снимка, то время экспозиции $t_1 = 2{,}5$ с. Определить время экспозиции t_2, если применять лампу силой света $J_2 = 40$ кд, расположенную на расстоянии $r_2 = 2$ м от снимка.

---

[1] Отношение светового потока, излучаемого источником, к его мощности.

16.11*. Найти освещенность края стола диаметром $d = 1$ м, который освещается круглой лампой, висящей на высоте $h = 1$ м от центра стола. Полный световой поток лампы $\Phi = 600$ лк.

16.12*. Лампа, сила света которой $J = 1000$ кд, находится на высоте $h = 8$ м от поверхности земли. Найти площадь участка, в пределах которого освещенность $E \geqslant 1$ лк.

16.13*. На какой угол нужно повернуть площадку, чтобы ее освещенность уменьшить в $n = 2$ раза по сравнению с той освещенностью, которая была при перпендикулярном падении лучей?

16.14*. На высоте $h = 5$ м висит лампа и освещает горизонтальную площадку на поверхности земли. На каком расстоянии от центра площадки освещенность ее поверхности в $n = 2$ раза меньше, чем в ее центре?

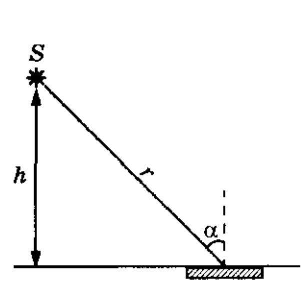


Рис. 16.1

16.15*. Свет от электрической лампы, сила света которой $J = 200$ кд, падает на небольшую горизонтальную площадку под углом $\alpha = 45°$ (рис. 16.1), создавая освещенность $E = 141$ лк. Найти расстояние от лампы до площадки и высоту h, на которой лампа подвешена.

16.16*. На столбе, на высотах $h_1 = 3$ м и $h_2 = 4$ м над поверхностью земли, одна над другой висят две лампы, силой света $J = 200$ кд каждая. Найти освещенность поверхности земли на расстоянии $l = 2$ м от основания столба.

16.17*. Два точечных источника света расположены на расстоянии $l = 2$ м друг от друга. На перпендикуляре, опущенном на середину линии, соединяющей источники, расположена под углом α к нему небольшая площадка на расстоянии $b = 1$ м от этой линии. При угле $\alpha = 15°$ освещенности обеих сторон площадки одинаковы и составляют $E = 20$ лк. Определить силу света каждого источника.

16.18*. Купол, имеющий форму полусферы радиусом $r = 1$ м, освещается двумя одинаковыми лампами, подвешенными на высоте $h = 2r$ над поверхностью земли и находящимися на расстоянии $L = 2r$ друг от друга (рис. 16.2). Определить освещенность в точках полусферы, находящихся на минимальном расстоянии от одного из источников, если полный световой поток, создаваемый каждой лампой, $\Phi = 10^3$ лм.

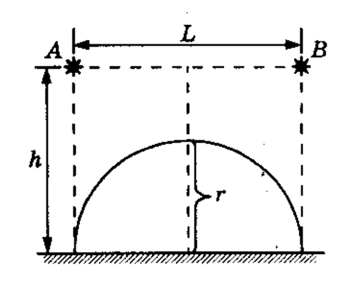


Рис. 16.2

16.19*. По обе стороны от точечного источника света на одинаковых расстояниях, равных $r = 1$ м, помещены экран Э, и плоское зеркало З, плоскости которых параллельны (рис. 16.3). Какова освещенность, создаваемая в центре экрана, если сила света источника $J = 2$ кд?

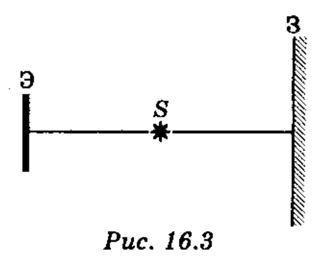


Рис. 16.3

16.20*. Лампа находится между картиной и плоским зеркалом. Определить световой поток, падающий на картину площадью $S = 0{,}5$ м^2, если расстояние от лампы до картины $r_1 = 4$ м, а от лампы до зеркала $r_2 = 2$ м. Сила света лампы $J = 96$ кд. Картина и зеркало параллельны друг другу.

16.21*. Точечный источник света, помещенный на некотором расстоянии от экрана, создает освещенность $E = 2{,}25$ лк. Как изменится эта освещенность, если по другую сторону источника на таком же расстоянии поместить:

а) бесконечное плоское зеркало, параллельное экрану;

б) вогнутое зеркало, центр которого совпадает с центром экрана;

в) выпуклое зеркало такого же радиуса кривизны, как и вогнутое?

16.22*. Над горизонтальной поверхностью стола на высоте $h = 2$ м расположен точечный источник, сила света которого $J = 120$ кд. На расстоянии $l = 1$ м по горизонтали от источника, перпендикулярно поверхности, находится плоское зеркало. Определить освещенность поверхности E непосредственно под источником.

16.23*. Точечный источник S, сила света которого J, расположен на высоте h над горизонтальной поверхностью (рис. 16.4). Над источником находится горизонтальное плоское зеркало З. Найти зависимость освещенности поверхности E непосредственно под источником от расстояния x между зеркалом и источником.

16.24*. Над столом на высоте $h = 120$ см и на расстоянии $l = 80$ см от стены висит лампа S, сила света которой $J = 72$ кд. Ниже лампы на стене вертикально висит зеркало З, расстояние от середины которого до лампы $d = 100$ см (рис. 16.5). Определить освещенность на столе

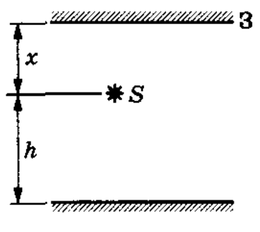


Рис. 16.4

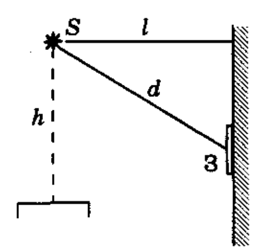


Рис. 16.5

под лампой. На какую величину изменится освещенность, если убрать зеркало?

16.25*. На сколько процентов увеличится освещенность поверхности под светящейся точкой S, если расположить плоское зеркало так, чтобы изображение точки S' находилось на той же высоте x, что и источник S от поверхности и на расстоянии x него? Коэффициент отражения зеркала $k = 0{,}95$.

16.26*. Над центром круглого стола радиусом R, на высоте $H = R$, находится точечный источник, сила света которого J. Найти зависимость освещенности поверхности стола E от r (r — расстояние от центра стола до точки, в которой определяют освещенность). Вычислить освещенность для: а) $k_1 = 1$; б) $k_2 = 5$; в) $k_3 = 10$, где $\frac{r}{R} = 0{,}1k$.

16.27*. Оценить среднюю силу света стеариновой свечи, яркость пламени которой $B = 5 \cdot 10^3$ кд/м^2.

16.28*. Источник света представляет собой равномерно светящуюся поверхность. Как будет изменяться его яркость, если приближаться к нему? удаляться от него? Как будет меняться яркость для наблюдателя при этом?

16.29*. Электрическая лампа, сила света которой $J = 100$ кд, заключена в матовый сферический плафон диаметром $D = 5$ см. Найти светимость и яркость источника света. Поглощением света стеклом плафона можно пренебречь.

16.30*. Светящимся телом лампы служит накаленный шарик диаметром $d = 3$ мм. Ее сила света $J = 85$ кд. Найти яркость лампы, если ее сферическая колба диаметром $D = 6$ см сделана: а) из прозрачного стекла; б) из матового стекла.

16.31*. Оценить освещенность поверхности Земли, создаваемую нормально падающими солнечными лучами. Яркость Солнца $B = 1{,}2 \cdot 10^9$ кд/м^2.

16.32*. Идеальная матовая поверхность с коэффициентом отражения $k = 0{,}9$ имеет освещенность $E = 30$ лк. Определить ее яркость.

Таблица 16

Формулы	Обозначения		Единицы измерения
Световой поток $\Phi = J\omega$; $\omega = 2\pi(1 - \cos\beta)$		Φ — световой поток J — сила света ω — телесный угол β — угол между осью конуса и его образующей	1 лм 1 кд 1 ср 1 рад = 57,3°
Полный световой поток $\Phi = 4\pi J$			
Освещенность поверхности $E = \frac{\Phi}{S}$;		E — освещенность S — площадь поверхности r — расстояние от источника до поверхности	1 лк 1 $м^2$ 1 м
$E = \frac{J}{r^2}\cos\varphi$			
Яркость $B = \frac{J}{\Delta S}$		B — яркость	1 $кд/м^2$
Светимость $R = \frac{\Phi}{S}$		R — светимость	1 лк

17. Элементы волновой оптики

Скорость света и показатель преломления

17.1. В астрономии расстояние измеряется в световых годах. 1 св. год равен расстоянию, которое проходит свет за 1 год. Выразить световой год в километрах.

17.2. Сколько времени понадобится световому излучению, чтобы дойти от Солнца до Земли, если расстояние между ними $s = 1{,}5 \cdot 10^8$ км?

17.3. Оптическая плотность льда меньше, чем воды. В какой из этих сред свет распространяется с большей скоростью?

17.4. Скорость распространения света в алмазе $v = 124\ 000$ км/с. Вычислить показатель преломления алмаза.

17.5. Зная скорость света в вакууме, вычислить скорость света в воде и в стекле.

17.6. Показатель преломления воды для красного света $n_1 = 1{,}331$, а для фиолетового $n_2 = 1{,}343$. Найти скорость распространения красного и фиолетового света в воде.

17.7. На сколько скорость света в вакууме больше скорости света в алмазе?

17.8. Луч света переходит из воздуха в стекло. На сколько процентов при этом изменится скорость света?

17.9. При переходе светового луча из воздуха в некоторое вещество скорость света изменяется на $k = 20\%$. Определить показатель преломления этого вещества.

17.10. Луч света проходит через слой воды в некоторое вещество. Определить абсолютный показатель преломления этого вещества, если скорость света в этом веществе на $\Delta v = 10^8$ м/с меньше, чем в воде.

17.11. В сосуд налиты скипидар и вода. Найти отношение толщины слоёв жидкостей, если время прохождения света в них одинаково. (Свет падает перпендикулярно поверхностям жидкостей.)

17.12. Два пучка света падают нормально на пластинки из стекла и алмаза, толщина которых одинакова. Во сколько раз и в каком веществе время прохождения лучей меньше?

17.13. Пучок света падает нормально на флинтгласовую пластинку, поверх которой налито масло. Толщина слоя масла в 2 раза меньше

толщины пластины. Найти отношение времени распространения света в пластине и в масле.

17.14. Пучок света падает нормально на поверхность кварцевой пластинки толщиной $h = 0,2$ см. На сколько увеличится время прохождения пластинки светом по сравнению с тем, если бы он проходил этот путь в вакууме?

17.15. Луч света падает на поверхность раздела двух сред под углом $\alpha = 30°$. Определить угол преломления β, если скорость света в первой среде $v_1 = 2,5 \cdot 10^8$ м/с, а абсолютный показатель преломления второй среды $n_2 = 1,4$.

17.16. Луч света падает на границу раздела двух сред под углом $\alpha = 30°$. Скорость распространения света в первой среде $v_1 = 1,25 \cdot 10^8$ м/с. Определить показатель преломления второй среды, если известно, что отраженный и преломленный лучи перпендикулярны друг другу.

17.17. Для полного внутреннего отражения необходимо, чтобы световой луч падал на границу раздела среда—вакуум под углом не менее 60°. Определить скорость света в данной среде и ее показатель преломления.

17.18. Точечный источник света находится на дне сосуда с жидкостью. Толщина слоя жидкости $h = 30$ см, показатель преломления $n = 5/4$. Определить максимальное и минимальное время, которое свет, идущий от источника и выходящий из жидкости в воздух, затрачивает на прохождение слоя жидкости.

17.19. Определить предельный угол полного внутреннего отражения для границы раздела скипидар—воздух и скорость распространения света в скипидаре, если известно, что при угле падения света из воздуха $\alpha = 45°$ угол преломления $\beta = 30°$.

17.20. Какие частоты колебаний соответствуют крайним красным ($\lambda = 0,76$ мкм) и крайним фиолетовым ($\lambda = 0,4$ мкм) лучам видимой части спектра?

17.21. Человек воспринимает как свет электромагнитное излучение с частотой от значения $\nu_1 = 4 \cdot 10^{14}$ Гц до значения $\nu_2 = 7,5 \cdot 10^{14}$ Гц. Определить интервал длин волн такого излучения.

17.22. Показатель преломления воды для света с длиной волны в вакууме $\lambda_1 = 0,76$ мкм — $n_1 = 1,329$, а для света с длиной волны $\lambda_2 = 0,4$ мкм — $n_2 = 1,344$. Для каких лучей скорость света в воде больше?

17.23. Вода освещена красным светом, для которого длина волны в воздухе $\lambda_1 = 0,7$ мкм. Какой будет длина волны этого света в воде? Какой цвет видит человек, открывший глаза под водой?

17.24. Определить показатель преломления среды, если известно, что свет с частотой $\nu = 4{,}4 \cdot 10^{14}$ Гц имеет в ней длину волны $\lambda_1 = 0{,}51$ мкм.

17.25. На сколько длина волны световых лучей красного цвета в вакууме отличается от длины волны этих лучей в воде? Длина волны красного света в вакууме $\lambda_0 = 7300$ Å.

17.26. Скорость распространения фиолетовых лучей с частотой $\nu = 7{,}5 \cdot 10^{14}$ Гц в воде $\upsilon = 2{,}23 \cdot 10^8$ м/с. На сколько изменится их длина волны при переходе в воздух? Найти показатель преломления воды.

17.27. Два световых луча одинаковой длины волны распространяются один — в вакууме, другой — в стекле. На сколько отличаются их частоты, если частота света в вакууме $\nu = 6 \cdot 10^{14}$ Гц?

17.28. Два световых луча одинаковой длины волны $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ м распространяются один — в воде, второй — в скипидаре. На сколько отличается частота света этих лучей? Частота какого луча света меньше?

17.29. Сколько длин волн монохроматического излучения с частотой $\nu = 400$ ТГц укладывается на отрезке 1 м?

17.30. Сколько длин волн монохроматического света с частотой $\nu = 5 \cdot 10^{14}$ Гц уложится на отрезке $l = 1{,}2$ мм: в вакууме; в стекле; в воде?

17.31. Монохроматический свет с длиной волны $\lambda_0 = 0{,}5$ мкм падает нормально на стеклянную пластинку толщиной $h = 0{,}2$ мм, находящуюся в воздухе. Сколько длин волн укладывается на толщине пластинки? За какое время свет проходит через пластинку?

17.32. На каком расстоянии в вакууме уложится столько же длин волн монохроматического света, сколько их укладывается на расстоянии $l = 3$ мм в воде?

17.33*. При фотографировании спектра Солнца было обнаружено, что желтая спектральная линия ($\lambda = 589$ нм) в спектрах, полученных от левого и правого краев Солнца, была смещена на $\Delta\lambda = 0{,}008$ нм. Найти линейную скорость вращения солнечного диска.

Интерференция света

17.34. Являются ли звезды на небе когерентными источниками света?

17.35. Две световые волны, налагаясь друг на друга в определенном участке пространства, взаимно гасят друг друга. Означает ли это, что световая энергия превращается в другие виды энергии?

17.36. Как с помощью зеркал можно получить когерентные источники?

17.37. Для получения на экране интерференционной картины поместили источник света над поверхностью плоского зеркала на малом расстоянии от него. Объяснить причину возникновения системы когерентных световых волн.

17.38. Можно ли, используя призмы, получить когерентные источники?

17.39. Почему возникают радужные полосы в тонком слое керосина на поверхности воды?

17.40. Почему крылья стрекоз имеют радужную окраску?

17.41. Найти разность фаз $\Delta\varphi$ в двух точках светового луча, если расстояние между ними 3λ; $2n\frac{\lambda}{2}$, где n — целое число.

17.42. На пути одного из параллельных световых лучей поместили, нормально ему, плоскопараллельную стеклянную пластинку толщиной $h = 1$ мм. Какую оптическую разность хода лучей вносит пластинка?

17.43. Разность хода двух интерферирующих лучей монохроматического света $\Delta d = 0{,}3\lambda$. Определить разность фаз колебаний.

17.44. Два параллельных монохроматических луча падают на стеклянную призму ($n = 1{,}5$) и выходят из нее. Расстояние между падающими лучами $a = 2$ см (рис. 17.1). Преломляющий угол призмы $\alpha = 30°$. Определить разность хода лучей при выходе из призмы.

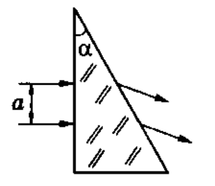


Рис. 17.1

17.45. Два когерентных световых луча достигают некоторой точки с разностью хода $\Delta d = 2$ мкм. Что произойдет в этой точке — усиление или ослабление света — если свет: а) красного цвета ($\lambda = 760$ нм); б) желтого цвета ($\lambda = 600$ нм); в) фиолетового цвета ($\lambda = 400$ нм)?

17.46. От двух когерентных источников красного света получили интерференционную картину. Как изменится картина интерференционных полос, если воспользоваться источниками фиолетового цвета?

17.47. Оптическая разность хода волн от двух когерентных источников в некоторой точке пространства $\Delta d = 8{,}723$ мкм. Каков будет результат интерференции в этой точке, если длина волны будет: а) $\lambda_1 = 671$ нм; б) $\lambda_2 = 436$ нм?

17.48. Световые волны от двух когерентных источников с длиной волны $\lambda_1 = 500$ нм попадают на экран так, что для некоторой точки экрана

геометрическая разность хода волн $\Delta d = 0{,}75$ мкм. а) Что будет наблюдаться в этом случае в данной точке экрана — интерференционный максимум или минимум? б) Как изменится ответ, если длина волны источника будет $\lambda_2 = 750$ нм?

17.49. Световые волны от двух когерентных источников с длиной волны $\lambda = 400$ нм распространяются навстречу друг другу. Какой будет результат интерференции, если разность хода будет: а) $\Delta d = 2$ мкм; б) $\Delta d = 2{,}2$ мкм?

17.50. Как изменится интерференционная картина от двух когерентных источников на экране, если: а) не изменяя расстояния между источниками света, удалить их от экрана; б) не изменяя расстояние до экрана, сблизить источники света; в) источники света будут испускать свет меньшей длины волны?

17.51. При наблюдении в воздухе интерференции света от двух когерентных источников излучения на экране видны чередующиеся темные и светлые полосы. Как изменится ширина полос, если наблюдения производить в воде, сохраняя все остальные условия опыта неизменными?

17.52. Два когерентных источника S_1 и S_2 (рис. 17.2) испускают монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм. На каком расстоянии от точки O будет первый максимум освещенности, если $|OC| = 4$ м и $|S_1S_2| = 1$ мм?

17.53. Расстояние на экране между двумя соседними максимумами освещенности $d = 1{,}2$ мм. Определить длину волны света, излучаемого когерентными источниками S_1 и S_2, если $|OC| = 2$ м, $|S_1S_2| = 1$ мм (рис. 17.2).

17.54. Два когерентных источника S_1 и S_2, излучающие свет с длиной волны $\lambda = 0{,}5$ мкм, находятся на расстоянии $d = 2$ мм друг от друга (рис. 17.3). Параллельно линии, соединяющей источники, расположен экран на расстоянии $L = 2$ м от них. Что будет наблюдаться в точке A экрана: свет или темнота?

17.55*. На экран A падает параллельный световой поток с длиной волны $\lambda = 560$ нм. В экране имеются две параллельные щели на расстоянии $d = 10^{-4}$ м одна от другой (рис. 17.4). Определить расстояние между

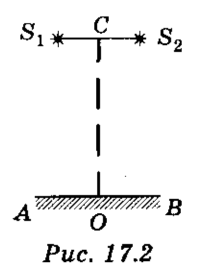


Рис. 17.2

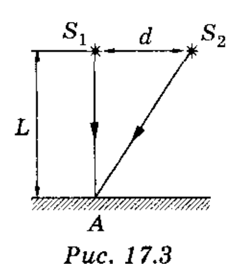


Рис. 17.3

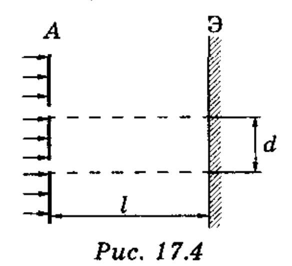


Рис. 17.4

соседними полосами интерференционных максимумов, наблюдаемых на экране Э, расположенном параллельно экрану A на расстоянии $l = 1$ м от него.

17.56. Собирающую линзу диаметром $D = 5$ см с фокусным расстоянием $F = 50$ см разрезали по диаметру пополам и раздвинули на расстояние $d = 5$ мм. Точечный источник света S расположен на расстоянии $a = 75$ см от линзы. На каком расстоянии l от линзы можно наблюдать интерференционную картину? Щель между половинками линзы закрыта.

17.57. Из собирающей линзы диаметром $D = 5$ мм с фокусным расстоянием $F = 50$ см вырезана полоса шириной $d = 5$ мм, а оставшиеся части сдвинуты вплотную. Точечный источник света расположен на расстоянии $a = 75$ см от линзы. На каком расстоянии от линзы можно наблюдать интерференционную картину?

17.58*. Два когерентных источника света излучают синфазно. Расстояние между источниками $d = \lambda$, где λ — длина волны падающего света (рис. 17.5). Определить направления, в которых можно наблюдать: а) интерференционный максимум; б) интерференционный минимум. Углы отсчитывают от линии, соединяющей источники. Расстояние от источников до точки наблюдения значительно больше длины волны.

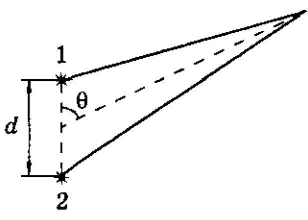


Рис. 17.5

Дифракционная решетка

17.59. Почему для наблюдения дифракции используют тела малых размеров — иглу, тонкую проволоку, волос?

17.60. Имеются две дифракционные решетки, на которых нанесено 10 и 200 штрихов на 1 мм. Какая из них дает на экране более широкий спектр при прочих равных условиях?

17.61. Как изменится дифракционная картина при удалении экрана от решетки?

17.62. Почему в центральной части спектра, полученного на экране при освещении дифракционной решетки белым светом, всегда наблюдается белая полоса?

17.63. Почему нельзя получить четкое изображение частицы размером порядка 0,3 мкм в оптическом микроскопе?

16—1695

17.64. Дифракционная решетка содержит 100 штрихов на 1 мм. Найти длину волны, монохроматического света, падающего на решетку, если угол между двумя максимумами первого порядка $\alpha = 8°$.

17.65. При наблюдении через дифракционную решетку красный край спектра первого порядка виден на расстоянии $l = 3{,}5$ см от середины экрана (рис. 17.6). Расстояние от дифракционной решетки до экрана $L = 50$ см. Период решетки $d = 10^{-2}$ мм. Определить длину волны красного цвета.

17.66. Дифракционную решетку, на каждый миллиметр которой нанесено $n = 75$ штрихов, освещают монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 500$ нм. При этом на экране видны светлые полосы на равных расстояниях друг от друга. Расстояние от центральной светлой полосы на экране до второй полосы $h = 1{,}25$ см (рис. 17.7). Определить расстояние L от решетки до экрана.

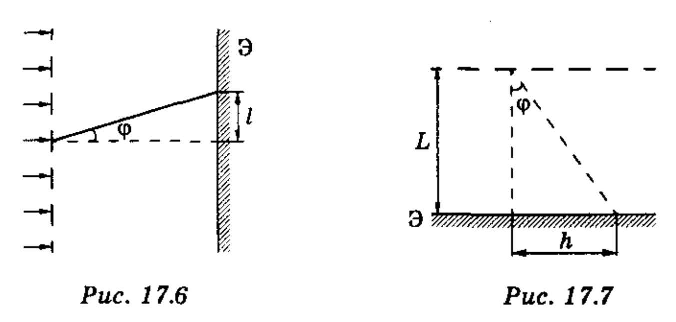


Рис. 17.6 Рис. 17.7

17.67. Определить угол отклонения лучей красного света $\lambda = 0{,}7$ мкм в спектре первого порядка, полученном с помощью дифракционной решетки, период которой $d = 0{,}02$ мм.

17.68. При помощи дифракционной решетки с периодом $d = 0{,}022$ мм получен первый дифракционный максимум на расстоянии $l_1 = 3{,}6$ см от центрального максимума и на расстоянии $l_2 = 1{,}8$ м от решетки. Найти длину световой волны.

17.69. Найти период решетки, если дифракционный максимум первого порядка получен на расстоянии $l_1 = 2{,}43$ см от центрального максимума, а расстояние от решетки до экрана $l_2 = 1$ м. Решетка освещена светом с длиной волны $\lambda = 486$ нм.

17.70. Для определения периода дифракционной решетки на нее направили световой пучок через красный светофильтр, пропускающий лучи с длиной волны $\lambda = 0{,}76$ мкм. Каков период решетки, если на экране, отстоящем от решетки на $L = 1$ м, расстояние между спектрами первого порядка $l = 15{,}2$ см?

17.71. Какова ширина спектра первого порядка полученного на экране, отстоящем на расстоянии $L = 3$ м от дифракционной решетки с периодом $d = 0{,}01$ мм? Длины волн спектра заключены в пределах от $\lambda_1 = 0{,}38$ мкм до $\lambda_2 = 0{,}76$ мкм.

17.72. Дифракционную решетку, постоянная которой $d = 0{,}004$ мм, освещают светом с длиной волны $\lambda = 687$ нм. Найти угол дифракции[1] для спектра второго порядка.

17.73. Определить постоянную дифракционной решетки, если при ее освещении светом с длиной волны $\lambda = 656$ нм спектр второго порядка виден под углом $\alpha = 5°$.

17.74. При освещении дифракционной решетки светом с длиной волны $\lambda_1 = 590$ нм спектр третьего порядка виден под углом $\alpha = 10°12'$. Определить длину волны λ_2 линии, для которой спектр второго порядка будет виден под углом $\alpha_2 = 6°18'$.

17.75. Определить длину волны λ_2 для линии в дифракционном спектре третьего порядка, совпадающей с изображением линии спектра четвертого порядка, у которой длина волны $\lambda_1 = 490$ нм.

17.76. На дифракционную решетку, имеющую период $d = 2 \cdot 10^{-1}$ см, падает нормально свет, пропущенный через светофильтр. Фильтр пропускает лучи с длиной волны от $\lambda_1 = 5000$ Å до $\lambda_2 = 6000$ Å. Будут ли спектры различных порядков налагаться друг на друга?

17.77. На дифракционную решетку, имеющую период $d = 4 \cdot 10^{-4}$ см, нормально падает монохроматическое излучение. Определить длину волны, если угол между спектрами второго и третьего порядка $\alpha = 2°30'$. Углы отклонения считать малыми.

17.78*. Определить постоянную решетки, способной анализировать инфракрасное излучение с длиной волны $\lambda = 2 \cdot 10^{-2}$ см. Излучение падает на решетку нормально.

17.79*. Какой наибольший порядок спектра можно наблюдать с помощью дифракционной решетки, имеющей $N = 500$ штрихов на расстоянии $x = 1$ мм, при освещении ее светом с длиной волны $\lambda = 720$ нм?

17.80. Для излучения некоторой длины волны дифракционный максимум первого порядка наблюдают под углом $\varphi_1 = 8{,}5°$. Какой угол дифракции соответствует последнему максимуму для той же длины волны?

[1] Угол дифракции — угол между нормалью дифракционной решетки и направлением на дифракционный максимум.

17.81. При падении на дифракционную решетку монохроматического света первый дифракционный максимум наблюдают под углом дифракции $\varphi_1 = 6{,}9°$, а последний — под углом $\varphi_m = 74°$. Чему равен максимальный порядок спектра решетки для длин волн вблизи длины волны падающего света?

17.82. Определить длину волны монохроматического света, падающего нормально на дифракционную решетку с периодом $d = 22$ мкм, если угол между направлениями на максимумы первого и второго порядков $\Delta\varphi = 15°$.

17.83°. На дифракционную решетку нормально падает свет от разрядной трубки. Какова должна быть постоянная решетки, чтобы в направлении $\varphi = 41°$ совпадали максимумы линий $\lambda_1 = 656{,}3$ нм и $\lambda_2 = 410{,}2$ нм? Известно, что максимальный порядок спектра данной решетки в области видимого света (400 ÷ 760 нм) $k_{max} = 12$.

17.84*. Свет с длиной волны $\lambda = 535$ нм падает нормально на дифракционную решетку. Найти период решетки, если одному из максимумов соответствует угол дифракции $\varphi = 35°$, а наибольший порядок спектра $k_{max} = 5$.

17.85. При наблюдении дифракционной картины два соседних максимума одной и той же спектральной линии наблюдают под углами дифракции $\varphi_k = 14{,}5°$ и $\varphi_{k+1} = 20{,}5°$. Чему равен угол дифракции той же линии в спектре первого порядка?

17.86*. При наблюдении дифракционной картины оказалось, что две соседние линии, соответствующие одной длине волны λ, видны под углами дифракции $\varphi_k = 13°$ и $\varphi_{k+1} = 22°$. Чему равен максимальный порядок спектра этой решетки для длин волн вблизи λ?

17.87*. Падающий нормально на дифракционную решетку свет состоит из двух спектральных линий с длинами волн $\lambda_1 = 490$ нм (голубой цвет) и $\lambda_2 = 600$ нм (оранжевый цвет). Первый дифракционный максимум для голубой линии располагается под углом $\varphi_1 = 10{,}0°$. Найти угловое расстояние между линиями в спектре второго порядка $\Delta\varphi$.

17.88*. Период дифракционной решетки $d = 6$ мкм. Для линии с $\lambda = 486$ нм найти такое наибольшее значение $\Delta\lambda$, чтобы нигде не перекрывались спектры разных порядков при освещении светом в интервале длин волн: $(\lambda - \Delta\lambda) \div (\lambda + \Delta\lambda)$.

Дисперсия

17.89. Какая разница между дифракционным и дисперсным спектрами?

17.90. В водоем на некоторую глубину помещен источник белого света. Показатель преломления для красных лучей $n_к = 1{,}328$, а для фиолетовых $n_ф = 1{,}335$. Вычислить отношение радиусов кругов, в пределах которых возможен выход красных и фиолетовых лучей из воды в воздух.

17.91. Объяснить причины появления двойной радуги. Каково чередование цветов в первой (основной) и во второй радуге?

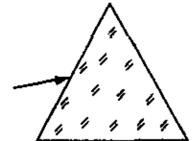


Рис. 17.8

17.92. На стеклянную призму, находящуюся в воздухе, падает тонкий луч белого света (рис. 17.8). Построить ход диспергирующих лучей в призме и вне призмы.

17.93. Луч света падает под углом $\alpha = 30°$ на призму, преломляющий угол которой $\varphi = 45°$. Определить угол Θ между крайними лучами спектра при выходе из призмы, если показатель преломления стекла призмы для крайних лучей видимого спектра $n_к = 1{,}62$ и $n_ф = 1{,}67$.

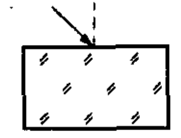


Рис. 17.9

17.94. На плоскопараллельную стеклянную пластинку, находящуюся в воздухе, падает луч белого света (рис. 17.9). Построить ход диспергирующих лучей в пластинке и ход лучей вне пластинки.

17.95. Луч белого света падает под углом $\alpha = 60°$ на плоскопараллельную стеклянную пластинку. Крайние красный и фиолетовый лучи светового пучка, выходящего на противоположной грани пластинки, отстоят друг от друга на расстоянии $\Delta x = 0{,}3$ мм. Определить толщину пластинки, если показатель преломления стекла для крайних красных лучей $n_к = 1{,}51$, а для крайних фиолетовых — $n_ф = 1{,}53$.

17.96*. Линза изготовлена из стекла, показатель преломления которого для красных лучей $n_к = 1{,}5$, а для фиолетовых — $n_ф = 1{,}52$. Радиусы кривизны обеих поверхностей линзы одинаковы и $R = 1$ м. Определить расстояние между фокусами линзы для красных и фиолетовых лучей.

Оптика

Таблица 17

Формулы	Обозначения		Единицы измерения
Длина волны $\lambda = \upsilon T$; $\upsilon = \lambda \nu$		λ — длина волны υ — скорость распространения волны T — период колебаний ν — частота колебаний	1 м 1 м/с 1 с 1 Гц
Преломление света $n = \frac{c}{\upsilon}$; $n_{12} = \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = \frac{n_1}{n_2}$		n_1 и n_2 — абсолютные показатели преломления c — скорость распространения света в вакууме	 $3 \cdot 10^8$ м/с
Интерференция волн $\Delta l = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$ — min; $\Delta l = k\lambda$ — max		$\Delta l = l_1 - l_2$ — разность хода	1 м
Дифракционная решетка $\Delta l = d\sin\varphi$; $d\sin\varphi = k\lambda$		d — период решетки	1 м

18. Основы теории относительности

Относительность времени и расстояний

18.1. Во сколько раз увеличивается продолжительность существования нестабильной частицы в ИСО, неподвижной относительно Земли, если частица движется со скоростью $v = 0{,}99c$[1]?

18.2 Космическая частица движется со скоростью $v = 0{,}95c$. Какой промежуток времени t соответствует $t = 1$ мкс собственного времени частицы?

18.3. Сколько времени t_1 для жителя Земли и t_2 для космонавтов займет путешествие до звезды и обратно на ракете, летящей со скоростью $v = 0{,}99c$? Расстояние до звезды $s = 40$ световых лет.

18.4. Длина неподвижного стержня $l_0 = 1$ м. Определить длину стержня, если он движется со скоростью $v = 0{,}6c$.

18.5. При какой скорости движения релятивистское сокращение длины движущегося тела составит $\eta = 25\%$?

18.6. На космическом корабле-спутнике находятся часы, синхронизированные до полета с земными. Скорость спутника $v = 7{,}9$ км/с. На сколько отстанут часы, находящиеся на спутнике, от часов земного наблюдателя за время $\tau_0 = 0{,}5$ года?

18.7. Фотонная ракета движется относительно Земли со скоростью $v = 0{,}6c$. Во сколько раз замедлится ход времени в ракете с точки зрения земного наблюдателя?

18.8. Собственное время жизни мю-мезона $\tau_0 = 2$ мкс. От точки рождения до точки отсчета в лабораторной системе отсчета мю-мезон пролетел расстояние $l = 6$ км. С какой скоростью (в долях скорости света) двигался мю-мезон?

Релятивистское сложение скоростей*

18.9*. Показать, что формула сложения скоростей релятивистских частиц переходит в соответствующую формулу классической механики при $v << c$.

---

[1] c — скорость света.

18.10*. Ионизированный атом, вылетев из ускорителя со скоростью $v = 0{,}8c$, испустил фотон в направлении своего движения. Определить скорость фотона относительно ускорителя.

18.11*. Ускоритель сообщил радиоактивному ядру скорость $v = 0{,}4c$. В момент вылета из ускорителя ядро выбросило в направлении своего движения β-частицу со скоростью $u = 0{,}75c$ относительно ускорителя. Найти скорость частицы относительно ядра.

Взаимосвязь массы и энергии

18.12. Частица движется со скоростью $v = 0{,}5c$. Во сколько раз релятивистская масса частицы больше массы покоя?

18.13. При какой скорости релятивистская масса движущейся частицы m вдвое больше массы покоя этой частицы m_0?

18.14. На сколько увеличится релятивистская масса частицы m_0 при увеличении ее начальной скорости от $v_0 = 0$ до скорости $v = 0{,}9c$?

18.15. Скорость частицы $v = 30$ Мм/с. На сколько процентов релятивистская масса движущейся частицы больше массы покоящейся частицы?

18.16. С какой скоростью должен лететь протон ($m_{0p} = 1$ а. е. м.), чтобы его релятивистская масса была равна массе покоя α-частицы ($m_{0\alpha} = 4$ а. е. м.)?

18.17. Во сколько раз изменится плотность тела при его движении со скоростью $v = 0{,}8c$?

18.18. При движении с некоторой скоростью продольные размеры тела уменьшились в $n = 2$ раза. Во сколько раз изменилась масса тела?

18.19. Отношение заряда движущегося электрона к его массе, определенное из опыта, $k = 0{,}88 \cdot 10^{11}$ Кл/кг. Определить релятивистскую массу электрона и его скорость.

18.20. Масса тела $m = 1$ кг. Вычислить полную его энергию.

18.21. Определить энергию, соответствующую массе покоящегося электрона. Результат выразить в электрон-вольтах.

18.22. Вычислите энергию покоя: а) протона; б) α-частицы.

18.23. При какой скорости кинетическая энергия частицы равна ее энергии покоя?

18.24. Полная энергия тела возросла на $\Delta E = 1$ Дж. На сколько при этом изменилась масса тела?

18.25. Найти изменение энергии, соответствующее изменению массы на величину массы покоя протона.

18.26. С единицы площади поверхности Солнца ежесекундно испускается энергия $W = 74$ МДж/(м$^2 \cdot$с). На сколько уменьшается масса Солнца за год?

18.27. Масса Солнца $M = 1{,}99 \cdot 10^{30}$ кг. Солнце в течение времени $t = 1$ год излучает энергию $E = 12{,}6 \cdot 10^{33}$ Дж. За какое время масса Солнца уменьшится вдвое ($n = 2$)?

18.28. Объем воды в Мировом океане $V \approx 1{,}3 \cdot 10^9$ км^3. На сколько возрастет масса воды в океане, если температура воды повысится на $\Delta t = 1$ °С? Плотность воды в океане $\rho = 1{,}03 \cdot 10^3$ кг/м^3.

Кинетическая энергия релятивистской частицы

18.29. Кинетическая энергия электрона $E_к = 10$ МэВ. Во сколько раз его релятивистская масса больше массы покоя? Сделать такой же подсчет для протона.

18.30. Найти скорость частицы, если ее кинетическая энергия составляет половину энергии покоя.

18.31. Найти скорость космической частицы, если ее полная энергия в 5 раз больше энергии покоя.

18.32. До какой кинетической энергии можно ускорить частицы в циклотроне, если относительное увеличение массы частицы не должно превышать $\eta = 5\%$? Задачу решить для электронов и протонов.

18.33. Электрон летит со скоростью $v = 0{,}8c$. Определить кинетическую энергию электрона в мегаэлектрон-вольтах.

18.34. Релятивистская масса движущегося протона в $k = 1{,}5$ раза больше его массы покоя. Определить полную и кинетическую энергии этого протона.

18.35. Найти скорость частицы, если ее полная энергия в $n = 10$ раз больше энергии покоя.

18.36. Максимальная скорость движения электронов в катодной трубке $v = 0{,}04c$. Найти разность потенциалов между электродами.

18.37. Электрон, ускоренный электрическим полем, приобрел скорость, при которой его полная энергия стала равна удвоенной энергии покоя. Чему равна ускоряющая разность потенциалов? Отношение заряда электрона к его массе $e/m = 1{,}76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.

18.38. Какую ускоряющую разность потенциалов U должен пройти протон, чтобы его продольные размеры стали меньше в $n = 2$ раза?

Импульс. Связь энергии и импульса

18.39. Электрон движется со скоростью $v = 0{,}6c$. Определить импульс электрона.

18.40. Найти скорость, при которой релятивистский импульс частицы в $\eta = 2$ раза превышает ее импульс, определяемый в классической механике.

18.41. Импульс релятивистской частицы $p = m_0c$, где m_0 — масса покоя частицы. Определить скорость частицы.

18.42. Электрон движется в магнитном поле по окружности радиуса $r = 2$ см. Индукция поля $B = 0{,}1$ Тл. Определить кинетическую энергию электрона.

18.43. Электрон, кинетическая энергия которого $E_к = 1{,}5$ МэВ, движется в однородном магнитном поле по окружности. Индукция поля $B = 0{,}02$ Тл. Определить период его вращения. Энергия покоя электрона $E_0 = 0{,}5$ МэВ.

18.44. Определить импульс частицы, если ее кинетическая энергия равна энергии покоя, m_0 — масса покоя частицы.

18.45. Определить кинетическую энергию релятивистской частицы, если ее импульс $p = m_0c$, где m_0 — масса покоя частицы.

Таблица 18

Формулы	Обозначения		Единицы измерения
Релятивистское сокращение длины стержня $l = l_0\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}$	Y, Y′, K, K′, $\vec{v}$, O, O′, X, X′	l_0 — длина стержня в системе координат K', относительно которой он покоится	1 м
		l — длина стержня в системе K, относительно которой он движется со скоростью v	1 м
		c — скорость распространения электромагнитного излучения	$3\cdot10^8$ м/с
Релятивистское замедление времени $\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}$	Y, Y′, Δt, Δt′, K, K′, $\vec{v}$, O, O′, X, X′	Δt — промежуток времени в системе K', измеренный по часам системы K'	1 с
		Δt_0 — промежуток времени в системе K, измеренный по часам системы K	1 с
Релятивистское сложение скоростей $v_a = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{v_1 v}{c^2}}$	Y, Y′, $\vec{v}_1$, K, K′, $\vec{v}$, O, O′, X, X′	v_1 — скорость в системе K'	1 м/с
		v — скорость системы K' относительно K	1 м/с
		v_a — скорость в системе K	1 м/с

Окончание таблицы 18

Формулы	Обозначения		Единицы измерения
Релятивистская масса $m = \dfrac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\dfrac{v}{c}\right)^2}}$		m_0 — масса покоя частицы m — релятивистская масса частицы	1 кг 1 кг
Релятивистский импульс $p = \dfrac{m_0 v}{\sqrt{1 - \left(\dfrac{v}{c}\right)^2}}$		p — импульс частицы E — полная энергия частицы	1 кг · м/с 1 Дж
Полная энергия релятивистской частицы $E = mc^2 = m_0c^2 + E_к$		$E_к$ — кинетическая энергия частицы	1 Дж

19. Квантово-оптические явления

Фотоны

19.1. Найти массу фотона, энергию фотона и импульс фотона для: а) красных лучей с длиной волны $\lambda_1 = 7200$ Å; б) рентгеновских лучей с длиной волны $\lambda_2 = 25$ Å; в) γ-лучей с длиной волны $\lambda_3 = 1,24 \cdot 10^{-3}$ Å.

19.2. Энергия фотона $E_ф = 4,1375$ эВ. Найти длину волны, которая ему соответствует.

19.3. Определить энергию фотона, которому соответствует длина волны $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$ м.

19.4. Определить импульс фотона с энергией $E = 1,2 \cdot 10^{-18}$ Дж.

19.5. Масса фотона $m = 1,655 \cdot 10^{-35}$ кг. Какова соответствующая ему длина волны?

19.6. Во сколько раз энергия фотона рентгеновского излучения с длиной волны $\lambda_1 = 1$ Å больше энергии фотона видимого света с длиной волны $\lambda_2 = 0,4$ мкм?

19.7. Во сколько раз отличаются энергии фотонов, которым соответствуют частоты $\nu_1 = 5 \cdot 10^{15}$ Гц и $\nu_2 = 1,5 \cdot 10^{16}$ Гн?

19.8. Импульсы фотонов $p_1 = 4 \cdot 10^{-22}$ кг · м/с и $p_2 = 10^{-21}$ кг · м/с. Во сколько раз отличаются соответствующие им длины волн?

19.9. Найти импульс фотона, энергия которого равна энергии покоя электрона.

19.10. Определить ускоряющую разность потенциалов, которую должен пройти электрон, чтобы его энергия была равна энергии фотона, которому соответствует длина волны $\lambda = 1,24$ пм.

19.11. *С какой скоростью должен двигаться электрон*, чтобы его импульс был равен импульсу фотона, которому соответствует длина волны $\lambda = 600$ нм?

19.12. Найти массу фотона, импульс которого равен импульсу молекулы водорода при температуре $t = 20$ °C. Скорость молекулы равна среднеквадратичной скорости.

19.13. Какова длина волны фотона, энергия которого равна средней кинетической энергии молекулы идеального одноатомного газа при температуре $T = 3000$ K?

Оптика

19.14. Найти абсолютный показатель преломления среды, в которой свет с энергией фотона $E = 4{,}4 \cdot 10^{-19}$ Дж имеет длину волны $\lambda = 3 \cdot 10^{-5}$ см.

19.15. Поток фотонов падает из вакуума на оптически прозрачное вещество с показателем преломления n для данной длины волны. Определить импульс падающего фотона, если его длина волны в веществе равна λ.

19.16°. Фотон, которому соответствует длина волны $\lambda = 10^{-10}$ м, претерпевает упругий центральный удар с первоначально покоившимся электроном и рассеивается назад. Какую скорость приобретает электрон?

19.17*. Фотон, импульс которого p сталкивается с покоящимся электроном и отлетает под углом $\Theta = 90°$ к первоначальному направлению своего движения. Найти импульс p' фотона после столкновения. Считать скорость электрона $\upsilon << c$.

19.18*. Фотон с энергией $E_ф = 6$ кэВ сталкивается с покоящимся электроном. Найти кинетическую энергию $E_к$, полученную электроном, если в результате столкновения длина волны фотона изменилась на $\eta = 20\%$. Приобретенную электроном скорость считать $\upsilon << c$.

19.19*. В результате столкновения фотона и протона, летевших по взаимно перпендикулярным направлениям, протон остановился, а длина волны фотона изменилась на $\eta = 1\%$. Чему был равен импульс фотона? Скорость протона считать $\upsilon << c$.

19.20. Сколько квантов энергии (фотонов) с частотой $\nu = 997$ ГГц содержится в импульсе излучения с энергией $E = 6{,}6 \cdot 10^{-18}$ Дж?

19.21. Сколько фотонов с длиной волны $\lambda = 4500$ Å содержит импульс монохроматического излучения с энергией $E = 6{,}62 \cdot 10^{-18}$ Дж?

19.22. Сколько фотонов, средняя энергия которых соответствует частоте $\nu = 4{,}4 \cdot 10^{14}$ Гц, излучает за время $t = 5$ с лампа мощностью $P = 60$ Вт?

19.23. Источник монохроматического излучения с длиной волны λ имеет мощность P. Определить число фотонов N, испускаемых источником ежесекундно.

19.24. Источник монохроматического света мощностью $P = 40$ Вт испускает $n = 1{,}2 \cdot 10^{20}$ фотонов в секунду. Определить длину волны излучения.

19.25. Сколько фотонов ежесекундно испускает нить электрической лампы полезной мощностью $P = 1$ Вт, если длина волны излучения, соответствующая средней энергии фотона, $\lambda = 1$ мкм?

19.26. Определить мощность монохроматического источника света, если за время $t = 1$ мин он испускает $N = 2 \cdot 10^{21}$ фотона. Спектр излучения имеет длину волны $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ м.

19.27. Какое количество фотонов с длиной волны $\lambda = 4500$ Å излучает монохроматический источник света за время $t = 1$ мин, если ежесекундно он излучает $\varepsilon = 4{,}5 \cdot 10^{-8}$ Дж световой энергии?

19.28. Радиопередатчик мощностью $P = 1$ МВт излучает на частоте $\nu = 1$ МГц. Какова энергия в электрон-вольтах каждого изучаемого кванта? Сколько квантов излучается за каждый период колебаний электромагнитного поля?

19.29. Сколько фотонов испускает ежесекундно электрическая лампочка мощностью $P = 100$ Вт, если длина волны излучения, соответствующая средней энергии фотона, $\lambda = 600$ нм, а световая отдача лампы $\eta = 3{,}3\%$?

19.30. Чувствительность сетчатки глаза к желтому свету с длиной волны $\lambda = 600$ нм составляет $P = 1{,}7 \cdot 10^{-18}$ Вт. Сколько фотонов должно падать ежесекундно на сетчатку, чтобы свет был воспринят?

19.31. Чем более высокое напряжение подают на рентгеновскую трубку, тем более жесткие (т. е. с более короткими волнами) лучи испускает она. Почему? Изменится ли жесткость излучения, если, не меняя анодного напряжения, изменить накал нити катода?

19.32. Под каким напряжением работает рентгеновская трубка, если самые жесткие лучи в рентгеновском спектре этой трубки имеют частоту $\nu = 10^{18}$ Гц?

19.33. Рентгеновская трубка излучает ежесекундно $N = 2 \cdot 10^{13}$ фотонов с длиной волны, соответствующей средней энергии фотона, $\lambda = 10^{-10}$ м. Определить КПД трубки, если при напряжении $U = 50$ кВ сила тока $I = 10^{-3}$ А.

19.34. Монохроматический излучатель полезной мощностью $P = 10^{-10}$ Вт помещен в прозрачную среду с абсолютным показателем преломления $n = 2$. Найти количество квантов, излучаемых им за время $t = 1$ мин, если они имеют длину волны в среде $\lambda = 2 \cdot 10^{-7}$ м.

19.35. Капля воды массой $m = 0{,}2$ г нагревается светом с длиной волны $\lambda = 5500$ Å. Какое количество фотонов N поглощает вода ежесекундно, если быстрота нагрева капли $\frac{\Delta T}{\Delta t} = 5$ К/с?

19.36. Воду, объем которой $V = 0{,}2$ мл, нагревают светом с длиной волны $\lambda = 0{,}75$ мкм. Ежесекундно вода поглощает $N = 10^{10}$ фотонов. Определить скорость нагрева воды, считая, что вся полученная энергия идет на ее нагревание.

19.37. Лазер излучает световые импульсы с энергией W. Частота повторения импульсов f. Коэффициент полезного действия, определяемый как отношение излучаемой энергии к потребляемой, составляет η. Какой объем воды нужно прогнать за время τ через охлаждающую систему лазера, чтобы вода нагрелась не более чем на ΔT градусов? Удельная теплоемкость воды c, плотность ρ.

19.38. Рубиновый лазер дает импульс монохроматического излучения с длиной волны $\lambda = 6943$ Å. Определить концентрацию фотонов в пучке, если мощность излучения лазера $P = 2$ МВт, а площадь сечения луча $S = 4 \cdot 10^{-4}$ м^2.

19.39. Сколько квантов излучения падает за время $t = 15$ с на поверхность площадью $S_2 = 10{,}4$ см^2, если ее облучают потоком гамма-лучей с длиной волны $\lambda = 10^{-12}$ см, мощность которого на площадь $S_1 = 1$ см^2 составляет $P = 0{,}002$ Вт?

19.40. Сколько гамма-квантов падает ежесекундно на поверхность, которую облучают гамма-лучами мощностью $P = 0{,}001$ Вт и длиной волны $\lambda = 10^{-14}$ м?

19.41. Точечный источник света мощностью P испускает свет с длиной волны λ. Сколько фотонов N падает за время t на маленькую площадку площадью S, расположенную перпендикулярно к падающим лучам, на расстоянии r от источника?

19.42. Мощность точечного источника монохроматического излучения с длиной волны $\lambda = 1$ мкм $P = 100$ Вт. Определить число фотонов, падающих за 1 с на $S = 1$ см^2 площади, расположенной перпендикулярно лучам на расстоянии $R = 10$ м.

19.43. Точечный источник света мощностью $P_0 = 10$ Вт испускает свет с длиной волны $\lambda = 500$ нм. На каком максимальном расстоянии этот источник будет замечен человеком, если глаз воспринимает свет при условии, что на сетчатку попадает $n = 60$ фотонов в секунду? Диаметр зрачка $d = 0{,}5$ см.

19.44*. Луч лазера с длиной волны $\lambda = 630$ нм имеет вид конуса с углом при вершине $\alpha = 10^{-4}$ рад. Оптическая мощность излучения $P = 3$ мВт. На каком максимальном расстоянии наблюдатель сможет увидеть луч лазера, если глаз воспринимает свет при условии, что на сетчатку попадает $n = 100$ фотонов в секунду? Диаметр зрачка $d = 0{,}5$ см.

Давление света

19.45. Почему хвост кометы направлен всегда в сторону, противоположную Солнцу? Почему длина хвоста кометы не всегда одинакова?

19.46. Доказать, что сила давления, оказываемая светом Солнца на какое-либо тело, обратно пропорциональна квадрату расстояния от этого тела до Солнца.

19.47. Почему давление света на черную поверхность меньше, чем на белую?

19.48. Фотон с энергией $E = 6$ эВ падает на зеркало и отражается. Какой импульс получает зеркало?

19.49. Фотон с частотой ν падает под углом α на зеркальную поверхность. Какой импульс p получает поверхность при отражении от нее фотона?

19.50. Луч лазера мощностью $N = 50$ Вт падает нормально на поглощающую поверхность. Определить силу давления светового луча на поверхность.

19.51. Перпендикулярно поверхности площадью $S = 100$ см^2 ежеминутно падает $W = 63$ Дж световой энергии. Найти величину светового давления, если поверхность полностью все лучи: а) отражает; б) поглощает.

19.52. Параллельный пучок квантов с частотой ν падает на поглощающую поверхность под углом Θ. Определить давление света на эту поверхность, если через единицу площади поперечного сечения пучка за секунду проходит n квантов.

19.53. Параллельный пучок света с длиной волны $\lambda = 6600$ Å падает нормально на плоское зеркало. Интенсивность падающего излучения $J = 0{,}63$ Вт/м^2. Коэффициент отражения $k = 0{,}9$. Определить число фотонов, которые ежесекундно поглощаются единицей поверхности.

19.54. Луч лазера мощностью $N = 50$ Вт падает перпендикулярно поверхности пластинки, которая отражает $k = 50\%$ и пропускает $\alpha = 30\%$ падающей энергии. Остальную часть энергии она поглощает. Определить силу светового давления на пластину.

19.55°. Короткий импульс света с энергией $E = 10$ Дж в виде узкого параллельного монохроматичного пучка фотонов падает на пластинку под углом $\Theta = 60°$. При этом $k = 50\%$ фотонов зеркально отражаются, а остальные поглощаются. Найти импульс, переданный пластинке.

19.56°. Существует проект запуска космических аппаратов с помощью наземного лазера. Запускаемый аппарат снабжают зеркалом, полностью отражающим лазерное излучение. Какова должна быть мощность лазера, обеспечивающего запуск по этой схеме аппарата массой $m = 100$ кг?

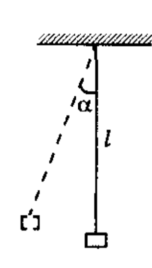


Рис. 19.1

19.57. Небольшое тело массой $m = 10$ мг, подвешенное на невесомой нерастяжимой нити длиной $l = 10$ см, поглощает короткий световой импульс с энергией $E = 30$ Дж, распространяющийся в горизонтальном направлении (рис. 19.1). Найти угол отклонения нити.

19.58. Найти давление света на стенки электрической лампы мощностью $N = 100$ Вт. Колба лампы — сферический сосуд радиусом $R = 5$ см. Стенки лампы отражают $k = 10\%$ падающего на них света. Считать, что вся потребляемая лампой мощность идет на излучение.

Фотоэффект

19.59. Объяснить существование красной границы фотоэффекта с точки зрения квантовой теории света.

19.60. Красная граница фотоэффекта для натрия $\lambda = 547$ нм. Найти работу выхода электрона из натрия.

19.61. Какова наименьшая частота света, при которой еще наблюдается фотоэффект, если работа выхода электрона из металла $A = 3{,}3 \cdot 10^{-19}$ Дж?

19.62. Вычислить длину волны λ красной границы фотоэффекта для серебра.

19.63. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла $\lambda = 2750$ Å. Чему равно минимальное значение энергии фотона, вызывающего фотоэффект?

19.64. Будет ли наблюдаться фотоэффект, если работа выхода электрона из металла $A = 3{,}3 \cdot 10^{-19}$ Дж, а свет имеет длину волны $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ м?

19.65. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла $\lambda = 2200$ Å. Какова масса фотона, вызывающего фотоэффект?

19.66. Для некоторого металла красная граница фотоэффекта — $\nu = 4{,}3 \cdot 10^{14}$ Гц. Определить работу выхода электрона из этого металла

и максимальную кинетическую энергию, которую приобретут электроны под действием излучения с длиной волны $\lambda = 190$ нм.

19.67. Максимальная кинетическая энергия электронов, вылетающих из рубидия при его освещении ультрафиолетовыми лучами с длиной волны $\lambda = 3,17 \cdot 10^{-7}$ м, $E = 2,84 \cdot 10^{-19}$ Дж. Определить работу выхода электронов из рубидия и красную границу фотоэффекта.

19.68. Серебряную пластинку освещают светом с частотой $\nu = 2 \cdot 10^{15}$ Гц. Найти максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов.

19.69. Вольфрамовую пластину освещают светом с длиной волны $\lambda = 2000$ Å. Найти максимальный импульс вылетающих из пластины электронов.

19.70. Пластину освещают монохроматическим излучением с длиной волны $\lambda = 3125$ Å. Известно, что наибольшее значение импульса, передаваемого пластине одним фотоэлектроном, равно $p = 3,3 \cdot 10^{-25}$ кг · м/с. Определить работу выхода электрона из вещества пластины.

19.71. Какой скоростью обладают электроны, вырванные с поверхности натрия, при облучении его светом, частота которого $\nu = 4,5 \cdot 10^{15}$ Гц? Определить наибольшую длину волны излучения, вызывающего фотоэффект.

19.72. Максимальная скорость фотоэлектронов, вырванных с поверхности меди при фотоэффекте $v = 9,3 \cdot 10^{6}$ м/с. Определить частоту света, вызывающего фотоэффект.

19.73. На металлическую пластину, красная граница фотоэффекта для которой $\lambda_0 = 0,5$ мкм, падает фотон с длиной волны $\lambda = 0,4$ мкм. Во сколько раз скорость фотона больше скорости фотоэлектрона?

19.74. С какой скоростью вылетают электроны с поверхности цезия при освещении желтым светом с длиной волны $\lambda = 590$ нм?

19.75. Цезиевый катод фотоэлемента освещают светом натриевой лампы с длиной волны $\lambda = 600$ нм. Определить скорость вырываемых из катода фотоэлектронов, если красная граница фотоэффекта для цезия $\lambda_0 = 650$ нм.

19.76. Если поочередно освещать поверхность металла излучением с длинами волн $\lambda_1 = 350$ нм и $\lambda_2 = 540$ нм, то максимальные скорости фотоэлектронов будут отличаться в $n = 2$ раза. Определить работу выхода электрона из этого металла.

19.77. Красная граница фотоэффекта $\lambda_0 = 234$ нм в $k = 1,3$ раза больше длины волны излучения, вызвавшего фотоэффект. Какова максимальная скорость фотоэлектронов?

19.78. Для некоторого металла красная граница фотоэффекта в $k = 1,2$ раза меньше частоты падающего излучения. Определить работу выхода электрона из данного металла, если максимальная скорость фотоэлектронов равна $v_m = 6 \cdot 10^5$ м/с.

19.79. Какую максимальную скорость будут иметь фотоэлектроны при облучении поверхности цинка ультрафиолетовым излучением с энергией квантов в $k = 1,5$ раза большей работы выхода?

19.80. Определить, во сколько раз частота излучения, вызывающего фотоэффект с поверхности некоторого металла, больше красной границы фотоэффекта, если работа выхода электрона из этого металла в $k = 2,5$ раза больше максимальной кинетической энергии фотоэлектронов.

19.81. При некотором минимальном значении задерживающей разности потенциалов фототок с поверхности лития, освещаемого светом с длиной волны λ_0, прекращается. Изменив длину волны света в $n = 1,5$ раза, установили, что для прекращения фототока достаточно увеличить задерживающую разность потенциалов в $k = 2$ раза. Вычислить λ_0.

19.82. Если освещать никелевый шар радиусом $r = 1$ см светом с длиной волны, вдвое меньшей красной границы фотоэффекта, то шар заряжается. Какой заряд приобрел шар?

19.83. Уединенный цинковый шарик облучают ультрафиолетовым светом с длиной волны $\lambda = 250$ нм. До какого максимального потенциала может зарядиться шарик?

19.84. Медный шарик, удаленный от других тел, под действием света, падающего на него, зарядился до потенциала $\varphi = 1,74$ В. Определить длину волны света.

19.85. При освещении вакуумного фотоэлемента желтым светом длиной волны $\lambda_1 = 600$ нм он зарядится до потенциала $\varphi_1 = 1,2$ В. До какого потенциала φ_2 может зарядиться фотоэлемент при освещении его фиолетовым светом с длиной волны $\lambda_2 = 400$ нм? Фотоэлемент отключен от цепи.

19.86. При исследовании вакуумного фотоэлемента оказалось, что при освещении катода светом с частотой $\nu_0 = 10^{15}$ Гц фототок с поверхности катода прекращается при задерживающем напряжении между катодом и анодом $U_з = 2$ В. Определить работу выхода электрона из материала катода.

19.87. Определить задерживающее напряжение для электронов, испускаемых с поверхности натрия под действием монохроматического излучения с длиной волны $\lambda = 2000$ Å.

19.88. Катод фотоэлемента освещают монохроматическим светом. При задерживающем напряжении между катодом и анодом $U_1 = 1{,}6$ В ток в цепи прекращается. При изменении длины света в $k = 1{,}5$ раза потребовалось подать задерживающую разность потенциалов $U_2 = 3$ В. Определить работу выхода электрона из материала катода.

19.89. При длине волны $\lambda = 600$ нм ток фотоэлектронов в вакуумном фотоэлементе прекращается, если между катодом и анодом подать задерживающее напряжение U_3 не меньше определенного значения. При увеличении длины волны на $\eta = 25\%$ задерживающее напряжение оказывается на $\Delta U = 0{,}4$ В меньше. Определить по этим данным постоянную Планка.

19.90. В ходе фотоэффекта электроны, вырываемые с поверхности квантами с частотой $\nu_1 = 4 \cdot 10^{15}$ Гц, полностью задерживает напряжение $U_1 = 14$ В, а при частоте квантов $\nu_2 = 8 \cdot 10^{15}$ Гц — напряжение $U_2 = 30$ В. Определить по этим данным постоянную Планка.

19.91. Плоская поверхность освещается светом с длиной волны $\lambda = 1800$ Å. Красная граница фотоэффекта для данного вещества $\lambda_0 = 3600$ Å. Непосредственно у поверхности создано однородное магнитное поле с индукцией $B = 1{,}0$ мТл. Линии индукции магнитного поля параллельны поверхности. На какое максимальное расстояние от поверхности смогут удалиться фотоэлектроны, если они вылетают перпендикулярно поверхности?

19.92. Цинковую пластинку освещают ультрафиолетовым светом с длиной волны $\lambda = 300$ нм. На какое максимальное расстояние от пластинки может удалиться фотоэлектрон, если вне пластинки создано задерживающее однородное поле с напряженностью $E = 10$ В/см?

19.93. На плоский электрод падает излучение с длиной волны $\lambda = 83$ нм. На какое максимальное расстояние от поверхности электрода может удалиться фотоэлектрон, если вне электрода создано задерживающее электрическое поле напряженностью $E = 7{,}5$ В/см? Красная граница фотоэффекта соответствует длине волны $\lambda_0 = 332$ нм.

19.94. Между фотокатодом и анодом приложена такая разность потенциалов, что наиболее быстрые фотоэлектроны могут пролететь только половину расстояния между электродами. Смогут ли они долететь до анода, если расстояние между электродами уменьшить вдвое при той же разности потенциалов?

19.95. При освещении вакуумного фотоэлемента монохроматическим светом в его цепи регистрируют ток насыщения силой $I_н = 3 \cdot 10^{-10}$ А. Оценить число электронов, вырываемых светом из катода ежесекундно и полный заряд, проходящий через фотоэлемент за это время.

19.96. Катод фотоэлемента освещают светом с длиной волны $\lambda = 5000$ Å. Мощность излучения, падающего на катод $P = 30$ мВт. При этом в цепи фотоэлемента сила тока $I = 1$ мА. Найти отношение числа падающих фотонов к числу выбитых фотоэлектронов.

19.97. На катод фотоэлемента падает световой поток мощностью $P = 0{,}02$ Вт. На каждые $n = 10$ квантов света, упавших на катод, в среднем приходится один выбитый фотоэлектрон. Определить силу тока насыщения фотоэлемента. Длина волны падающего света $\lambda = 2 \cdot 10^{-7}$ м.

19.98. Используя вольт-амперную характеристику некоторого вакуумного фотоэлемента (рис. 19.2), найти работу выхода электрона из катода. Катод освещают светом с длиной волны $\lambda = 3{,}3 \cdot 10^{-7}$ м.

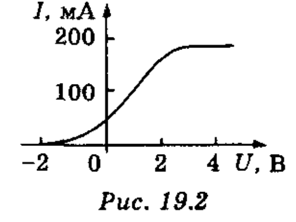


Рис. 19.2

19.99. При освещении фотоэлемента светом с длиной волны $\lambda = 1{,}8 \cdot 10^{-7}$ м получили вольт-амперную характеристику, показанную на рисунке 19.3. Пользуясь вольт-амперной характеристикой, определить работу выхода электрона из фотокатода; число электронов, выбиваемых из фотокатода в единицу времени.

19.100. Два фотокатода освещаются одним и тем же источником света. При этом зависимость фототока от напряжения между катодом и анодом (вольт-амперная характеристика) для одного катода изображается кривой *1*, для другого — кривой *2* (рис. 19.4). У какого фотокатода больше работа выхода? Ответ обосновать.

19.101. Оценить изменение силы давления вольфрамовой пластинки на стол (рис. 19.5), если ее облучать перпендикулярно поверхности монохроматическим светом мощностью $N = 1$ Вт с длиной волны $\lambda = 1000$ Å. Все электроны считать вылетающими перпендикулярно поверхности.

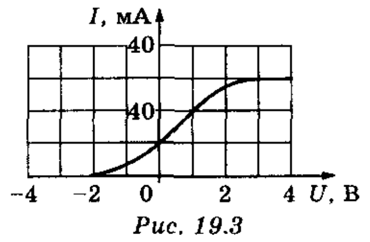


Рис. 19.3

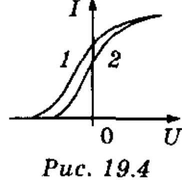


Рис. 19.4

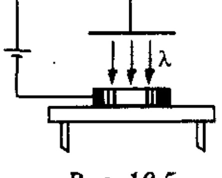


Рис. 19.5

19. Квантово-оптические явления

Таблица 19

Формулы	Обозначения	Единицы измерения
Энергия фотона $E_ф = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$	$E_ф$ — энергия фотона h — постоянная Планка ν — частота c — скорость света λ — длина волны	1 Дж $6{,}62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с 1 Гц $3 \cdot 10^8$ м/с 1 м
Масса и импульс фотона $m_ф = \frac{E_ф}{c^2} = \frac{h}{\lambda c}$;		
$p_ф = \frac{E_ф}{c} = m_ф c = \frac{h}{\lambda}$	$m_ф$ — масса фотона $p_ф$ — импульс фотона	1 кг 1 кг · м/с
Давление света $p = \frac{J}{c}(1 + \rho)$	p — давление J — интенсивность ρ — коэффициент отражения	1 Па Вт/м^2
Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта $h\nu = A + \frac{m_e v_m^2}{2}$	A — работа выхода m_e — масса электрона v_m — скорость электрона	1эВ = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж $9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг 1 м/с
Красная граница фотоэффекта $\nu_0 = \frac{A}{h}$; $\lambda_0 = \frac{hc}{A}$	ν_0, λ_0 — красная граница фотоэффекта	1 Гц, м
Задерживающее напряжение $U_з = \frac{m_e v^2}{2e}$	$U_з$ — задерживающее напряжение	1 В

Атомная и ядерная физика

20. Атомная физика

Строение атома. Теория атома водорода по Бору

20.1. Сколько электронов входит в состав атома: алюминия, меди, олова, золота?

20.2. Почему количество электронов в оболочке атома не является числом, характеризующим атом? Какое же число характеризует атом?

20.3. Какой процент от массы нейтрального атома урана $^{238}_{92}U$ составляет масса его электронной оболочки? Относительную атомную массу урана принять равной его массовому числу.

20.4. На какое наименьшее расстояние α-частица, имеющая скорость $\upsilon = 1{,}9 \cdot 10^7$ м/с, может приблизиться к неподвижному ядру золота, двигаясь по прямой, проходящей через центр ядра?

20.5*. Вычислить, согласно модели Томсона, радиус атома водорода и длину волны испускаемого им света, если известно, что энергия ионизации атома $E = 13{,}6$ эВ.

20.6. Радиус орбиты электрона в атоме водорода $r = 0{,}53 \cdot 10^{-10}$ м. Какова частота вращения электрона? Какую длину волны имело бы электромагнитное излучение с такой частотой?

20.7. Рассчитать, согласно теории Бора, для любого состояния атома водорода: а) радиус орбиты r_n электрона в атоме; б) линейную скорость υ_n электрона в атоме; в) угловую скорость ω_n электрона в атоме; г) электростатическую силу F_n притяжения к ядру; д) центростремительное ускорение a_n электрона в атоме; е) кинетическую энергию электрона $E_{кn}$ в атоме; ж) потенциальную энергию электрона $E_{пn}$ в атоме; з) полную энергию электрона E_n в атоме.

20.8. Определить частоту обращения электрона вокруг ядра атома водорода при движении по второй боровской орбите.

20.9. Определить импульс электрона на первой боровской орбите атома водорода.

20.10. Определить потенциальную энергию электрона, находящегося на второй боровской орбите атома водорода.

20.11. На какое расстояние смещается в радиальном направлении электрон, переходящий с первой на четвертую боровскую орбиту атома водорода?

20.12. Во сколько раз отличаются напряженности E электрического поля на второй и третьей боровских орбитах атома водорода? Найти эти напряженности.

20.13. Определить силу тока, обусловленную движением электрона по первой боровской орбите атома водорода.

20.14. Определить магнитный момент электрона, находящегося в атоме водорода на первой боровской орбите.

20.15. Используя теорию Бора, найти кинетическую энергию электрона на: а) первой орбите и б) третьей орбите атома водорода.

20.16. Найти для водородоподобного иона радиус n-й боровской орбиты и скорость электрона на ней. Вычислить эти величины для первой боровской орбиты иона He^+.

20.17. Определить круговую частоту обращения электрона на n-й боровской орбите водородоподобного иона. Вычислить данную величину для иона гелия He при $n = 2$.

20.18. Электрон вращается вокруг ядра с зарядом $+Ze$ по круговой орбите. Используя второй закон Ньютона и правило квантования Бора, найти энергию электрона как функцию квантового числа n.

20.19°. Если в атоме водорода электрон заменить отрицательным μ-мезоном, образуется система, которая называется мезоатомом. Пользуясь теорией Бора, найти радиус мезоатома в состоянии с наименьшей энергией. Масса μ-мезона $m = 1{,}88 \cdot 10^{-28}$ кг, а заряд равен заряду электрона.

20.20. Частица массой m движется по круговой орбите в центрально-симметричном поле, где сила, действующая на частицу, зависит от расстояния r до центра поля как $F = -kr$, k — постоянная. Найти с помощью боровского условия квантования возможные радиусы орбит r_n и значения полной энергии частицы E_n в данном поле.

Спектр атома водорода

20.21. Имеется ли связь между частотой обращения электрона вокруг ядра атома водорода и частотой его излучения?

20.22. Сколько квантов с различной энергией может испустить атом водорода, если электрон находится на третьей орбите?

20.23. Электрон в атоме водорода перешел из основного состояния в возбужденное, получив энергию $E = 12{,}8$ эВ. Какова наибольшая длина волны, которую может теперь излучить атом водорода?

20.24. При переходе электрона в атоме водорода с одного энергетического уровня на другой излучен свет с частотой $\nu = 1{,}64 \cdot 10^{15}$ Гц. На сколько изменилась энергия атома?

20.25. На сколько изменилась кинетическая энергия электрона в атоме водорода при излучении им фотона с длиной волны $\lambda = 4860$ Å?

20.26. Зная постоянную Ридберга $R = 1{,}097 \cdot 10^7\,\text{м}^{-1}$, подсчитать максимальную энергию, которую может иметь фотон, излучаемый атомом водорода.

20.27. Как теория Бора объясняет совпадение спектров испускания и спектров поглощения атомов?

20.28. Определить для атома водорода и иона He^+: а) энергию связи электрона в основном состоянии E; б) потенциал ионизации φ_i; в) первый потенциал возбуждения φ_1; г) длину волны, излучаемую атомом при переходе электрона со второй орбиты на первую.

20.29. Вычислить энергию, необходимую для возбуждения атома водорода.

20.30. Может ли атом водорода поглотить фотон, энергия которого превосходит энергию связи атома?

20.31. В каких пределах должна лежать энергия каждого фотона, облучающего водород, чтобы при возбуждении атомов водорода, спектр водорода имел только одну спектральную линию?

20.32. Зная постоянную Ридберга $R = 1{,}097 \cdot 10^7\,\text{м}^{-1}$, вычислить энергию электрона E на второй боровской орбите атома водорода.

20.33. В каком состоянии находился атом водорода, если известно, что при переходе его в энергетически низшее состояние испускается квант энергии с длиной волны $\lambda = 972{,}5$ Å?

20.34. Атом водорода в основном состоянии поглотил квант света с длиной волны $\lambda = 1,2 \cdot 10^{-5}$ см. Определить радиус орбиты электрона r возбужденного атома.

20.35. Атом водорода излучил квант света с длиной волны $\lambda = 6,56 \cdot 10^{-7}$ м. Во сколько раз изменился при этом радиус электронной орбиты?

20.36. Используя боровскую модель атома водорода, найти радиус орбиты, при переходе на которую электрона в спектре испускания наблюдаются линии серии Бальмера.

20.37. Найти энергии, соответствующие первым трем линиям серии Бальмера атома водорода.

20.38. В результате поглощения кванта света электрон в атоме водорода перешел с первой боровской орбиты на вторую. Определить длину волны и частоту кванта.

20.39. В каком диапазоне длин волн лежит излучение атома водорода?

20.40. Для атома водорода рассчитать максимальную и минимальную частоты, соответствующие серии Бальмера ($n = 2$).

20.41. Определить длину волны первой спектральной линии серии Бальмера (с наименьшей частотой).

20.42. Частота излучения одной из линий серии Бальмера атома водорода $\nu = 6,17 \cdot 10^{14}$ Гц. Вычислить значение ближайших двух частот этой серии.

20.43. Определить длину волны фотона, излучаемого атомом водорода при переходе (согласно представлениям Бора) с четвертой орбиты на третью.

20.44. Атом водорода переходит с первого энергетического уровня на третий. Сколько линий можно обнаружить в спектре испускания такого атома? Определить длину волны этих линий.

20.45. Атом водорода, находящийся в основном состоянии, переводят в возбужденное состояние. При переходе из возбужденного состояния в основное в спектре излучения атома последовательно наблюдают два кванта с длинами волн $\lambda_1 = 1876$ нм и $\lambda_2 = 103$ нм. На каком энергетическом уровне находился атом в возбужденном состоянии?

20.46. Длина волны, излучаемая атомом водорода при переходе электрона на второй энергетический уровень с четвертого, $\lambda = 4850$ нм.

Определить минимальную длину волны, излучаемую атомом при переходе электрона на первый энергетический уровень. Постоянную Ридберга считать неизвестной.

20.47. Разрядная трубка заполнена водородом при низком давлении. При каком напряжении на электродах будет происходить возбуждение атомов?

20.48. Фотон с энергией $E = 16{,}5$ эВ выбил электрон из невозбужденного атома водорода. Какую скорость будет иметь электрон вдали от ядра атома?

20.49. Атом водорода поглотил квант света с длиной волны $\lambda = 800$ Å. При этом произошла ионизация атома. С какой скоростью вырванный из атома электрон будет двигаться вдали от ядра?

20.50. Покоившийся атом водорода испустил фотон при переходе из состояния $n = 2$ в основное состояние $n = 1$. Какую скорость приобрел атом?

20.51. Первоначально неподвижный атом водорода испустил фотон с длиной волны $\lambda = 121{,}5$ нм. Какую скорость приобрел атом водорода?

20.52. Первоначально покоящийся атом массой m испускает фотон с частотой ν. Определить изменение полной энергии атома.

20.53. Какую скорость приобретет покоящийся атом водорода, поглощая фотон и переходя в первое возбужденное состояние?

20.54. Атом водорода поглощает фотон, вследствие чего электрон, находившийся на второй боровской орбите, вылетает из атома со скоростью $\upsilon = 6 \cdot 10^5$ м/с. Чему равна частота фотона?

20.55. Покоящийся атом водорода в основном состоянии поглотил фотон и перешел в состояние с $n = 2$. Найти частоту поглощенного фотона и скорость атома.

20.56. Атом массой m в возбужденном состоянии имеет полную внутреннюю энергию на ΔE больше, чем в основном своем состоянии. Определить минимальную энергию электрона массы m_e, который мог бы возбудить первоначально покоящийся атом.

20.57. На сколько (в долях массы атома водорода в основном состоянии) уменьшается масса атома водорода при переходе из возбужденного состояния с $n = 2$ в основное?

20.58. Какой минимальной кинетической энергией $E_{\text{к}\min}$ должен обладать атом водорода, чтобы при неупругом лобовом соударении с другим, покоящимся, атомом водорода один из них оказался способным испустить фотон. До соударения атомы находились в основном состоянии.

20.59. Для удаления валентного электрона из атома натрия необходима энергия $E_i = 5{,}14$ эВ. Если валентный электрон перевести в возбужденное состояние, то атом натрия, возвращаясь в состояние с наименьшей энергией, испускает квант, которому соответствует длина волны $\lambda = 5{,}89 \cdot 10^{-7}$ м. Определить энергию возбужденного состояния E.

20.60. Какой минимальной энергией E_i должны обладать электроны, чтобы при возбуждении атома водорода ударами электронов появились все линии в спектре атомарного водорода? Опредилить импульс этих электронов.

20.61. Электрон при соударении с атомом водорода, находящимся в основном состоянии, возбуждает его, отдавая всю свою энергию. Какую наименьшую скорость v должен иметь электрон, чтобы атом водорода, переходя после соударения снова в основное состояние, мог излучить три различных линии спектра?

20.62. Протон, движущийся со скоростью $v_0 = 4{,}6 \cdot 10^4$ м/с, сталкивается с неподвижным свободным атомом гелия. После удара протон отскакивает назад со скоростью $v = 0{,}5v_0$, а атом переходит в возбужденное состояние. Вычислить длину волны света, который излучает атом гелия, возвращаясь в первоначальное состояние.

20.63. Фотон, которому соответствует длина волны $\lambda = 900$ Å, выбивает электрон со второй боровской орбиты атома водорода. Находясь вдали от атома, электрон влетает в однородное магнитное поле с индукцией $B = 5$ мТл так, что магнитное поле перпендикулярно скорости электрона. Определить радиус орбиты, по которой будет двигаться электрон в магнитном поле.

20.64. Фотон с длиной волны $\lambda = 800$ Å выбивает электрон из атома водорода, находящегося в основном состоянии. Вдали от атома электрон влетает в однородное электрическое поле, вектор напряженности которого $E = 100$ В/м совпадает с вектором скорости электрона. На какое максимальное расстояние от границы поля может удалиться электрон?

20.65. Атом водорода испускает квант света с максимальной энергией. Может ли этот квант света вызвать фотоэффект у палладия? Работа выхода электрона из палладия $A = 5$ эВ. Ответ обосновать.

20.66. Атом водорода испустил фотон при переходе электрона со второй орбиты на первую. Испущенный фотон попал на фотокатод и выбил из него фотоэлектрон. Определить максимальную скорость фотоэлектрона, если работа выхода электрона из материала фотокатода $A = 8{,}2$ эВ.

20.67. Найти номер боровской орбиты, соответствующей возбужденному состоянию атома водорода, если известно, что при переходе в основное состояние этот атом испустил два фотона. Импульс первого фотона $p = 1{,}35 \cdot 10^{-27}$ кг · м/с, а второму соответствует частота, равная красной границе фотоэффекта для материала, работа выхода электрона из которого $A = 10{,}2$ эВ.

20.68. Электроны атомов водорода переходят с третьей боровской орбиты в основное состояние. При этом излучается параллельный монохроматический пучок света. Давление этого пучка света на зеркальную поверхность, расположенную перпендикулярно падающему пучку, $p = 0{,}1$ мкПа. Определить число фотонов, проходящих ежесекундно через единицу поперечного сечения этого пучка.

20.69. *Атомарный водород облучают параллельным пучком монохро*матического света от источника мощностью $P = 1$ Вт. Через единицу поперечного сечения пучка ежесекундно проходит $N = 3{,}8 \cdot 10^{23}$ 1/(м^2 · с) фотонов. Площадь сечения пучка $S = 10^{-6}$ м^2. На излучение расходуется $\eta = 80\%$ мощности источника. Считая, что атомы водорода находятся в основном состоянии, определить максимально возможный номер боровской орбиты, на который будут переходить электроны в атомах.

20.70*. При переходе электронов с некоторой более удаленной орбиты на вторую боровскую орбиту, атомы водорода испускают монохроматический пучок света. При падении этого пучка по нормали на дифракционную решетку максимум второго порядка ($k = 2$) наблюдается под углом дифракции $\varphi = 30°$. Постоянная дифракционной решетки $d = 2{,}6$ мкм. Определить номер орбиты n, на котором первоначально находились электроны в атомах водорода.

20.71*. Одну из линий серии Бальмера атома водорода наблюдают с помощью дифракционной решетки. Спектр первого порядка этой линии виден под углом $\varphi = 9{,}72 \cdot 10^{-2}$ рад. Постоянная решетки $d = 5$ мкм, свет на решетку падает нормально. Определить номер орбиты n, при переходе с которой излучается эта линия.

20. Атомная физика

Таблица 20

Формулы	Обозначения	Единицы измерения
Правило квантования орбит $m_e v_n r_n = n\hbar$	m_e — масса электрона	$9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг
	v — скорость электрона на орбите	1 м/с
Правило частот Бора $E_ф = h\nu = E_m - E_n$	r — радиус орбиты	1 м
	n — главное квантовое число	
	h — постоянная Планка	$6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Дж · с
	$E_ф$ — энергия фотона	1 Дж
	$\hbar$ — постоянная Планка	$1{,}0546 \cdot 10^{-34}$ Дж · с
	ν — частота излучения	1 Гц
Энергия электрона, находящегося на n-й орбите	E_m, E_n — энергия атома в стационарных состояниях	1 Дж
$E_n = -\dfrac{me^4}{32\pi^2\varepsilon_0^2 h^2} \cdot \dfrac{1}{n^2} =$	e — заряд электрона	$1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл
	ε_0 — электрическая постоянная	$8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
$= -\dfrac{E_{ион}}{n^2}$	$E_{ион}$ — энергия ионизации	13,56 эВ
Обобщенная формула Ритца	R — постоянная Ридберга	$1{,}097 \cdot 10^{7}$ м$^{-1}$
$\nu = RZ^2\left(\dfrac{1}{n^2} - \dfrac{1}{m^2}\right)$,	Z — порядковый номер водородоподобного иона	
где $R = \dfrac{me^4}{32\pi^2\varepsilon_0^2 h^3}$	λ — длина волны, излучаемая (поглощаемая) атомом	1 м

21. Ядерная физика

Элементы строения ядра атома

21.1. Какое количество нуклонов содержит ядро изотопа плутония $^{239}_{94}\mathrm{Pu}$?

21.2. Определить состав ядер атомов бериллия, кремния, брома.

21.3. Определить элемент, в ядре атома которого содержится 7 протонов и 7 нейтронов; 51 протон и 71 нейтрон; 101 протон и 155 нейтронов.

21.4. Сколько нуклонов, протонов, нейтронов и электронов содержат нейтральные атомы: а) $^{24}_{12}\mathrm{Mg}$, $^{25}_{12}\mathrm{Mg}$, $^{26}_{12}\mathrm{Mg}$; б) $^{40}_{18}\mathrm{Ar}$, $^{40}_{20}\mathrm{Ca}$; в) $^{13}_{6}\mathrm{C}$, $^{14}_{7}\mathrm{N}$? Что объединяет каждую группу атомов?

21.5. Ядра каких элементов получатся, если в ядрах $^{3}_{2}\mathrm{He}$, $^{7}_{4}\mathrm{Be}$, $^{15}_{8}\mathrm{O}$ протоны заменить нейтронами, а нейтроны протонами?

21.6. Сколько протонов и нейтронов содержит алюминий массой $m = 1$ г?

21.7. Найти полное число электронов, содержащихся в аргоне $^{40}_{18}\mathrm{Ar}$, взятом в объеме $V = 0{,}5$ л при температуре $t = 100$ °C и давлении $p = 0{,}6$ атм.

21.8. Оценить: а) концентрацию нуклонов внутри ядра n; б) плотность ядерного вещества ρ; в) объемную плотность электрического заряда в ядре ρ_e. При оценке считать число протонов равным числу нейтронов.

21.9. Во сколько раз радиус ядра атома урана $^{238}\mathrm{U}$ больше радиуса ядра атома водорода $^{1}\mathrm{H}$?

21.10. Каким был бы радиус Солнца, если при той же массе его плотность равнялась бы плотности ядерного вещества? Средняя плотность Солнца $\rho = 1410$ кг/м^3.

21.11. Какую часть от объема атома кобальта $^{59}\mathrm{Co}$ составляет объем его ядра? Плотность кобальта $\rho = 4500$ кг/м^3.

Радиоактивность

21.12. При естественном радиоактивном распаде радия $^{226}_{88}Ra$ испускается α-частица. Написать ядерную реакцию. В ядро какого элемента при этом превращается ядро атома радия?

21.13. Какой элемент образуется из изотопа актиния $^{225}_{89}Ac$ в результате трех α-распадов? Пользуясь таблицей Менделеева, написать соответствующие реакции.

21.14. При радиоактивном распаде изотопа свинца $^{209}_{82}Pb$ испускается β^--частица. Написать ядерную реакцию для этого случая. В ядро какого элемента при этом превращается ядро изотопа свинца?

21.15. Дописать недостающие символы в реакции β^--распада:

$$^{A}_{Z}X \to {}^{223}_{88}Ra + {}^{0}_{-1}e + \tilde{\nu}.$$

21.16. Какое стабильное ядро получается из ядра ксенона ^{140}Xe после четырех β^--превращений?

21.17. Сколько электронов испускает криптон ^{97}Kr при превращении в молибден ^{97}Mo?

21.18. Ядро изотопа тория ^{232}Th претерпевает α-распад, два электронных β-распада и еще один α-распад. Ядро какого изотопа получается в результате этих превращений? Записать уравнения соответствующих реакций.

21.19. Ядро висмута ^{212}Bi испытывает или α-распад, превращаясь в изотоп таллия Tl, или β^--распад, образуя изотоп полония Po. Написать соответствующие реакции.

21.20. Ядро свинца ^{208}Pb может быть получено в результате α-распада полония Po или β^--распада таллия Tl. Написать соответствующие реакции.

21.21. Некоторый радиоактивный ряд[1] начинается с изотопа, содержащего 235 нуклонов, и заканчивается на изотопе с порядковым номером 82, при этом он включает семь α-распадов и четыре β^--распада. Определить недостающие характеристики начального и конечного изотопов ряда. Каким элементам они принадлежат?

---

[1] Радиоактивный ряд — цепочка последовательных α- и β^--распадов, в результате которых из начальных долгоживущих радиоактивных изотопов получаются стабильные ядра.

17 - 1695

21.22. Изотоп нептуния $^{237}_{93}Np$ — родоначальник радиоактивного ряда, включающего в себя 11 реакций. На каком изотопе висмута $_{83}Bi$ он заканчивается и сколько α- и β-превращений включает?

21.23. В периодической системе элементов рядом расположены три элемента. Условно назовем их X, Y, W. Радиоактивный изотоп элемента X превращается в элемент Y, а тот, в свою очередь, — в элемент W. Последний превращается в изотоп исходного элемента X. Какими процессами обусловлены эти переходы? Записать соответствующие реакции.

21.24. Радиоактивный изотоп магния $^{23}_{12}Mg$ превращается в изотоп натрия $^{23}_{11}Na$. Какая частица при этом выбрасывается? Записать соответствующую реакцию.

21.25. Радиоактивный изотоп золота ^{196}Au может претерпевать как электронный, так и позитронный распад. Записать соответствующие реакции.

21.26. Радиоактивные ядра меди могут испытывать три вида β-превращений: испускать электроны или позитроны, а также захватывать электроны, входящие в состав атома:

$$^{64}_{29}Cu \to Zn + {}_{-1}e + \tilde{\nu};$$

$$^{64}_{29}Cu \to Ni + {}_{+1}e + \nu;$$

$$^{64}_{29}Cu + {}_{-1}e \to Ni + \nu.$$

Дописать недостающие характеристики образующихся ядер.

21.27°. Большинство ядер трансурановых элементов группируются в четверки, обладающие следующим свойством: исходное радиоактивное ядро превращается в ядро более легкого элемента двумя способами. Указать недостающие порядковые номера, массовые числа и виды распадов для всех ядер следующих четверок:

а) $^{241}_{94}Pu$ (плутоний) $\xrightarrow{\alpha}$ U (уран)

$\downarrow \beta^-$ (от Pu к Am); $\downarrow \beta^-$ (от U к Np)

Am (америций) $\xrightarrow{\alpha}$ Np (нептуний)

б) ^{227}Ac (актиний) $\xrightarrow{\alpha}$ $_{87}Fr$ (франций)

$\downarrow \beta^-$ (от Ac к Th); $\downarrow$ (от Fr к Ra)

Th (торий) $\dashrightarrow$ $_{88}Ra$ (радий)

Закон радиоактивного распада

21.28. Масса вещества, оставшегося в процессе радиоактивного распада за время t, может быть вычислена по формуле $M = M_0 2^{-t/T}$, где M_0 — начальная масса вещества, T — период полураспада. Определить массу радиоактивного вещества, которая останется по истечении: а) суток; б) четырех суток, если вначале его масса была $M_0 = 100$ г. Период полураспада вещества $T = 2$ сут. в) По истечении какого времени масса вещества будет $m = 0{,}01$ г?

21.29. Определить период полураспада изотопа, если известно, что через время t после начала распада осталось $k = \frac{2}{3}$ первоначального количества изотопов ядер.

21.30. Сколько атомов ΔN полония ^{210}Po распадется за сутки в препарате массой $m = 1$ г?

21.31. За время t_1 начальное количество некоторого радиоактивного изотопа уменьшилось в $k_1 = 3$ раза. Во сколько раз k_2 оно уменьшится за время $t_2 = 2t_1$?

21.32. Определить период полураспада висмута ^{210}Bi, если известно, что висмут массой $m = 1{,}0$ г выбрасывает $N = 4{,}58 \cdot 10^{15}$ β^--частиц за $t = 1$ с.

21.33. Радиоактивный натрий ^{24}Na распадается, испуская β^--частицу. Вычислить количество атомов, распавшихся в данном радиоактивном препарате массой $m = 1$ мг за $t = 10$ ч. Каков суммарный заряд испущенных при этом распаде β^--частиц?

21.34. Месторождениям радиоактивных элементов всегда сопутствует свинец. Известно, что ториевый ряд заканчивается изотопом свинца ^{208}Pb ($^{232}Th \to {}^{208}Pb$). Считая возраст ториевой руды $t = 4 \cdot 10^9$ лет (порядка возраста солнечной системы), определить массу свинца m_2, появившегося в этой руде из тория массой $m_1 = 1$ кг?

21.35. Определить массу m_2 радона ^{222}Rn, находящегося в радиоактивном равновесии[1] с радием ^{226}Ra массой $m_1 = 1$ г.

---

[1] Радиоактивное равновесие двух изотопов — состояние, при котором их активности одинаковы. Активность A — число распадов в единицу времени.

21.36. Оценить количество тепла, которое выделяет полоний ^{210}Po массой $m = 1$ мг за время, равное периоду полураспада этих ядер, если испускаемые α-частицы имеют кинетическую энергию $W_\alpha = 5,3$ МэВ.

21.37. Известно, что из радиоактивного полония ^{210}Po массой $m = 2,5$ г за время $t = 32$ дня в результате его распада образуется гелий объемом $V = 40$ см^3 при нормальных условиях: $p_0 = 10^5$ Па, $\tau_0 = 273$ К. Определить по этим данным период полураспада данного изотопа полония.

21.38. При определении периода полураспада короткоживущего радиоактивного изотопа использовался счетчик импульсов. За минуту в начале наблюдения было насчитано $\Delta n_0 = 250$ импульсов, а через время $\tau = 1$ ч было зарегистрировано $\Delta n = 92$ импульса. Чему равен период полураспада данного изотопа?

21.39*. Вычислить постоянную распада λ для изотопов радия: а) ^{219}Ra; б) ^{226}Ra; в) ^{230}Ra. Чему равна вероятность распада изотопов радия за время $t = 1$ ч?

Ядерные реакции

21.40. Первая ядерная реакция была осуществлена Резерфордом в 1919 г. При облучении азота $^{14}_{7}$N α-частицами некоторые ядра превращались в кислород, испуская при этом протон. Записать данную реакцию.

21.41. В 1932 г. английский ученый Дж. Чедвик открыл нейтрон. Мишень какого элемента облучал он α-частицами, если в результате, кроме нейтрона, получался изотоп углерода $^{12}_{6}$C? Записать ядерную реакцию.

21.42. Когда ядро бора $^{11}_{5}$B захватывает быстро движущийся протон, в камере Вильсона, где протекает этот процесс, образуются три одинаковых трека, расходящихся веером. Какие одинаковые частицы образуют эти треки? Записать соответствующую реакцию.

21.43. Большинство ядерных реакций могут идти несколькими способами, получившими название «каналы реакции». Какие ядра образуются при облучении лития $^{7}_{3}$Li протонами, если в результате регистрируются: а) два одинаковых ядра; б) ядро и γ-квант; в) ядро и нейтрон; г) ядро и дейтрон ($d = {}^{2}_{1}$H); д) ядро и протон; е) протон и два ядра с числом нуклонов, отличающихся на единицу? Записать реакции.

21.44. Трансурановые элементы получают, используя многозарядные ионы с большой кинетической энергией. а) Какими ионами облучают уран при получении эйнштейния Es, если осуществляется реакция:

$^{238}\mathrm{U} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X} \to {}^{246}_{99}\mathrm{Es} + 6n$?

б) Ядра каких атомов используют в качестве мишеней при получении курчатовия Ku, если осуществляется реакция:

${}^{A}_{Z}\mathrm{Y} + {}^{22}_{10}\mathrm{Ne} \to {}^{260}_{104}\mathrm{Ku} + 4n$?

21.45. В 1934 г Ирен и Фредерик Жолио-Кюри, облучая α-частицами алюминий $^{27}\mathrm{Al}$ и бор $^{10}\mathrm{B}$, получили первые искусственные радиоактивные изотопы: фосфор $^{30}\mathrm{P}$ и азот $^{13}\mathrm{N}$, которые распадались с выделением позитрона. Записать обе реакции с указанием заряда и массового числа всех частиц и ядер, участвующих в реакциях.

21.46. Какие ядра образуются при облучении изотопа алюминия ${}^{27}_{13}\mathrm{Al}$ γ-квантами, если в процессе реакции образуется: а) нейтрон; б) протон? Записать данные реакции.

21.47. Используя таблицу Менделеева, дописать недостающие символы X, Y, Z, A в ядерных реакциях:

а) ${}^{32}_{16}\mathrm{S} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X} \to {}^{32}_{15}\mathrm{P} + {}^{1}_{1}\mathrm{H}$; б) ${}^{17}_{8}\mathrm{O} + d \to {}^{A}_{Z}\mathrm{X} + n$;

в) ${}^{40}_{20}\mathrm{Ca} + \gamma \to {}^{A}_{Z}\mathrm{X} + p + n$; г) ${}^{A}_{4}\mathrm{X} + \alpha \to {}^{12}_{Z}\mathrm{Y} + n$;

д) ${}^{A}_{2}\mathrm{X} + {}^{10}_{Z}\mathrm{Y} \to {}^{1}_{1}\mathrm{H} + {}^{13}_{6}\mathrm{C}$; е) ${}^{55}_{25}\mathrm{Mn} + p \to {}^{55}_{Z}\mathrm{X} + {}^{A}_{0}\mathrm{Y}$;

ж) ${}^{239}_{Z_1}\mathrm{Pu} + {}^{A}_{Z_2}\mathrm{X} \to {}^{A}_{Z_3}\mathrm{Cm} + n$.

21.48. Один из путей, которыми осуществляется деление ядер при цепной ядерной реакции, выглядит так: уран $^{235}\mathrm{U}$, захватывая медленный нейтрон n, распадается на два радиоактивных осколка — цезия $^{140}\mathrm{Ce}$ и рубидия $^{94}\mathrm{Rb}$ и несколько нейтронов. Осколки претерпевают цепочку β^--превращений, сопровождаемых испусканием γ-лучей. Конечные продукты — церий $^{140}\mathrm{Ce}$ и цирконий $^{94}\mathrm{Zr}$ — стабильны. Используя таблицу Менделеева, записать все семь ядерных реакций с указанием массового числа A и зарядового Z всех частиц, участвующих в реакциях.

21.49. Широко используемый в ядерной энергетике изотоп плутония $^{239}\mathrm{Pu}$ может быть получен при захвате нейтрона изотопом урана и нескольких последующих β^--распадов. Сколько электронов образуется в результате получения одного ядра плутония? Записать уравнение реакции.

21.50. В результате поглощения нейтрона изотопом тория ^{232}Th (которого очень много в земной коре) и двух последующих β^--распадов, получается изотоп, используемый в качестве ядерного топлива. Определить порядковый номер и число нуклонов получаемого изотопа. Записать соответствующую реакцию.

21.51. Сотый элемент фермий Fm впервые был получен путем кратковременного облучения урана сверхмощным потоком нейтронов. В этих условиях ядро урана может сразу поглотить более десятка нейтронов и затем, путем ряда β^--распадов, перейти в трансурановый элемент. Сколько нейтронов поглотило ядро урана и сколько электронов было испущено в ходе реакции образования ядра фермия:
$^{238}U + N_1 n \to {}^{255}Fm + N_2 e$?

21.52. Захватывая медленный нейтрон, плутоний $^{239}_{94}Pu$ распадается. Сколько нейтронов и электронов образуется в результате деления одного ядра плутония, если цепочка превращений заканчивается на долгоживущих изотопах цезия Cs и молибдена Mo:
$^{239}Pu + n \to {}^{135}Cs + {}^{100}Mo + N_1 n + N_2 e$?

Дефект массы, энергия связи, энергия реакции

21.53. Доказать эквивалентность формул вычисления дефекта массы:
$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_я$ и $\Delta m = ZM_{^1_1H} + (A - Z)m_n - M_a$,
где $m_я$ — масса ядра, M_a — массы атомов.

21.54. Вычислить в атомных единицах массы и килограммах дефект массы Δm ядра бора $^{11}_5B$.

21.55. Определить в джоулях и электрон-вольтах энергию связи $E_{св}$, соответствующую дефекту массы $\Delta m = 1$ а. е. м.

21.56. Какое количество энергии E выделится при аннигиляции нейтрона и антинейтрона?

21.57. Сравнить дефект массы ядра ^3_2He и массу электронов данного изотопа.

21.58. Найти дефект массы Δm и энергию связи $E_{св}$ трития ^3_1H. Какой процент от энергии покоя ядра составляет его энергия связи?

21.59. Какую минимальную работу надо совершить, чтобы «растащить» ядро кальция $^{40}_{20}Ca$ на отдельные протоны и нейтроны?

21.60. Определить энергию, которая может выделиться при образовании из протонов и нейтронов одного моля гелия ^4_2He . Ответ выразить в джоулях.

21.61. Сколько атомов водорода может быть ионизовано, если для ионизации использовать всю энергию, выделяющуюся при объединении протона и нейтрона в ядро дейтерия ^2_1H ? Написать данную реакцию.

21.62. Удельная энергия связи невелика для легких ядер, она достигает максимума в области массовых чисел $A \sim 50 \div 60$, а затем медленно уменьшается с ростом A. Вычислить удельную энергию связи для: а) лития ^6_3Li; б) железа $^{56}_{26}Fe$; в) урана $^{238}_{92}U$ — самого тяжелого изотопа (нуклида), который встречается в природе.

21.63. Какую минимальную работу нужно совершить, чтобы оторвать нейтрон от изотопа натрия $^{23}_{11}Na$?

21.64. Используя определение энергии связи, показать, что энергию, необходимую для разделения ядра С на ядра А и В, можно представить в виде: $E_{AB} = E_C - (E_A + E_B)$, где E_A, E_B, E_C — энергии связи соответствующих ядер. Определить энергию, необходимую для разделения ядра кислорода ^{16}O на α-частицу и ядро углерода ^{12}C. Энергии связи: $E_{^{16}O} = 127{,}62$ МэВ, $E_\alpha = 28{,}30$ МэВ, $E_{^{12}C} = 92{,}16$ МэВ.

21.65. Какую минимальную работу нужно совершить, чтобы разделить ядро атома углерода ^{12}C на три α-частицы? Удельная энергия связи: $\varepsilon_\alpha = 7{,}07$ МэВ/н, $\varepsilon_{^{12}C} = 7{,}68$ МэВ/н.

21.66. Какая энергия могла бы выделиться при слиянии двух α-частиц и нейтрона в ядро атома бериллия ^9_4Be? Удельные энергии связи: $\varepsilon_{^9Be} = 6{,}46$ МэВ/н, $\varepsilon_\alpha = 7{,}07$ МэВ/н.

21.67. Найти энергию Q, выделяющуюся при β^-- и β^+-распадах, если известны массы материнского $M_м$, дочернего $M_д$ атомов и электрона m_e. Вычислить энергию реакции для: а) электронного распада изотопа натрия ^{24}Na; б) позитронного распада изотопа углерода ^{11}C.

Написать соответствующие реакции.

21.68. В теории термоядерных реакций известны два цикла, результатом которых является объединение четырех ядер водорода в ядро гелия. Реакции проходят при очень высоких температурах и дают боль-

шой выход энергии (источник энергии Солнца). Вычислить энергии, выделяющиеся в каждой реакции протон-протонного цикла:

а) $^1H + ^1H \to ^2H + e^+ + \nu$; б) $^2H + ^1H \to ^3He + \gamma$ (Эти вещества являются горючим водородной бомбы.); в) $^3He + ^3He \to ^4He + 2^1H$.

21.69. Под действием протонов могут происходить реакции термоядерного деления:

а) $p + {}_Z^AX \to 3\alpha$; б) $p + {}_Z^AY \to 2\alpha$.

Какие изотопы используются в качестве мишеней в этих реакциях? Определить энергию Q, выделяющуюся в процессе реакции.

21.70. Энергия эндотермической реакции:

$^{17}O + n \to p + ^{17}N$,

$Q = -7,89$ МэВ. Используя табличные значения масс нейтральных атомов, оценить массу нестабильного изотопа азота.

21.71. Какую массу воды $m_в$ можно нагреть от 0 °С до кипения, если использовать всю энергию, выделившуюся в ходе реакции:

$^7Li + p \to 2^4He$

при полном разложении m = 1 мг лития? Удельная теплоемкость воды $c = 4,18 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К), удельные энергии связи ядер лития $\varepsilon_{Li} = 5,61$ МэВ/н и гелия $\varepsilon_{He} = 7,07$ МэВ/н.

21.72. Какое количество теплоты выделится в ходе реакции

${}_3^6Li + {}_1^1H \to {}_2^3He + {}_2^4He$,

в результате которой образуется m = 1 кг ${}_2^4He$? Во сколько раз это количество теплоты больше энергии, выделяемой при сгорании нефти массой m = 1 кг? Считать известными массы атомов.

21.73°. Оценить энергию W, освобождаемую при делении урана ^{235}U медленными нейтронами, если конечные продукты цепочки превращений — стабильные ядра церия ${}_{58}^{140}Ce$ и циркония ${}_{40}^{94}Zr$

${}_{92}^{235}U + n \to {}_{58}^{140}Ce + {}_{40}^{94}Zr + 6e^- + 2n + \gamma$.

21.74*. Какая энергия, в расчете на один нуклон, выделяется при распаде одного ядра урана (см. задачу 21.73)? Сравнить ее с энергией, приходящейся на один нуклон освобождаемой при термоядерном превращении четырех протонов в ядро гелия ^4He:

$4^1H \to ^4He + 2e^+ + \gamma$.

21.75. Подводная лодка «Наутилус» (США) имеет мощность топливных установок $P = 14{,}7$ МВт, КПД $\eta = 25\%$. Топливом служит обогащенный уран массой $m_0 = 1$ кг, при делении ядер которого выделяется энергия $E = 6{,}9 \cdot 10^{13}$ Дж. Определить запас горючего, необходимого для годового плавания лодки.

Законы сохранения в ядерных реакциях

21.76. Неподвижное атомное ядро массой M распалось на две равные части, с массами покоя m каждая. Найти скорости образовавшихся частей.

21.77. Неподвижное возбужденное ядро изотопа калия $^{40}_{19}K$ испускает γ-квант с энергией $E_\gamma = 9{,}4$ кэВ. Определить кинетическую энергию ядра после испускания γ-кванта.

21.78. Свободное неподвижное ядро иридия ^{192}Ir с энергией возбуждения $E_в = 129$ кэВ перешло в основное состояние, испустив γ-квант. Вычислить относительное изменение энергии γ-кванта, возникающее в результате отдачи ядра.

21.79. Найти наименьшее значение энергии γ-кванта, достаточное для выбивания нейтрона из ядра изотопа магния ^{24}Mg. Записать реакцию.

21.80. Неподвижное ядро полония $^{210}_{84}Po$ испустило α-частицу. Какое при этом образовалось ядро? Какую долю полной энергии, освобождаемой в данном процессе, составляет кинетическая энергия образовавшегося ядра? Чему она равна?

21.81. Определить массу атома, ядро которого, испуская α-частицу с энергией $E_\alpha = 5{,}46$ МэВ, превращается в ядро изотопа полония ^{218}Po. Записать данную реакцию.

21.82. Пренебрегая кинетическими энергиями ядер дейтерия ^2_1H и принимая их суммарный импульс равным нулю, определить кинетические энергии $E_{к1}$ и $E_{к2}$ продуктов реакции:

$$^2_1H + ^2_1H \rightarrow ^3_2He + ^1_0n.$$

21.83. Найти скорости продуктов реакции $^{10}B(n,\ \alpha)^7Li$, возникающей в результате захвата медленных нейтронов первоначально покоящимися ядрами бора.

21.84. Определить суммарную кинетическую энергию ядер, образовавшихся в результате реакции $^{13}C\ (d,\ \alpha)^{11}B$, если кинетическая энергия дейтрона $E_d = 1{,}53$ МэВ. Ядро-мишень ^{13}C считать неподвижным.

21.85. Протон, налетающий на неподвижное ядро атома лития, возбуждает реакцию $^7_3\text{Li} + p \to n + {}^7_4\text{Be}$. При какой кинетической энергии протона E_p возникающий нейтрон будет неподвижным?

21.86. При попадании протона в ядро атома лития ^7_3Li образуются два одинаковых ядра, разлетающихся симметрично по отношению к налетающему протону. Записать ядерную реакцию. Чему равно отношение кинетической энергии протона к суммарной кинетической энергии продуктов реакции, если угол их разлета $\varphi = 170°$? Чему равна кинетическая энергия налетающих протонов?

21.87. Какую кинетическую энергию необходимо сообщить протону, чтобы он смог расщепить покоящееся ядро тяжелого водорода ^2H?

21.88*. При попадании α-частицы в неподвижное ядро атома алюминия ^{27}Al образуется фосфор ^{30}P и нейтрон. Используя табличные значения масс атомов, подсчитать минимальную кинетическую энергию α-частиц (пороговую[1]), необходимую для протекания этой реакции. Найти суммарную кинетическую энергию продуктов реакции при вычисленном пороговом значении энергии α-частиц.

21.89. Неподвижное ядро кремния выбросило электрон с кинетической энергией $W_1 = 0{,}5$ МэВ и антинейтрино $\tilde{\nu}$ (частицу с зарядом, равным нулю, и массой покоя, равной нулю) $^{31}_{14}\text{Si} \to {}^{31}_{15}\text{P} + {}^{0}_{-1}e + \tilde{\nu}$. Пренебрегая кинетической энергией образовавшегося ядра, определить энергию E_ν антинейтрино.

21.90. Для осуществления термоядерного синтеза (слияния легких ядер в одно ядро) требуется преодолеть кулоновское отталкивание ядер. Оценить в МэВ, какой одинаковой кинетической энергией должны обладать два протона, чтобы сблизиться на расстояние $r = 2 \cdot 10^{-15}$ (радиус действия ядерных сил). Какой температуре теплового движения соответствует вычисленная кинетическая энергия?

21.91. Средняя поглощенная доза излучения сотрудником, работающим с рентгеновской установкой, равна 7 мкГр за 1 ч. Опасна ли работа сотрудника в течение 200 дней в году по 6 ч в день, если предельно допустимая доза облучения равна 50 мГр в год?

---

[1] Пороговая энергия $E_{\text{пор}}$ — минимальная кинетическая энергия бомбардирующих частиц, необходимая для протекания реакции. При этой энергии относительная скорость частиц — продуктов ядерной реакции — равна нулю.

21. Ядерная физика

Таблица 21

Формулы	*Обозначения*	Единицы измерения
Радиус ядра $R = r_0 A^{\frac{1}{3}}$	R — радиус ядра A — массовое число (число нуклонов в ядре) r_0^1 — постоянная[1]	1 м $(1{,}1 \div 1{,}5) \cdot 10^{-15}$ м
Символическая запись ядра ^A_ZX	X — символ химического элемента Z — атомный номер (число протонов в ядре)	
Правила смещения: а) α-распад $^A_Z\text{X} \to {}^{A-2}_{Z-4}\text{Y} + {}^4_2\text{He}$; б) электронный β-распад $^A_Z\text{X} \to {}_{Z+1}^{A}\text{Y} + {}_{-1}^{0}e + \tilde{\nu}$; в) позитронный β-распад $^A_Z\text{X} \to {}_{Z-1}^{A}\text{Y} + {}_{+1}^{0}e + \nu$	→ — направление реакции $_{-1}^{0}e$ — электрон $\tilde{\nu}$ — антинейтрино $_{+1}^{0}e$ — позитрон ν — нейтрино	
Закон радиоактивного распада $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} = N_0 e^{-\lambda t}$; $\lambda = \dfrac{\ln 2}{T}$	N — число нераспавшихся атомов в момент времени t N_0 — первоначальное число атомов t — время T — период полураспада	 1 с 1 с
Активность $A = \left\|\dfrac{dN}{dt}\right\| = \lambda N$	λ — постоянная распада e — основание натурального логарифма A — активность нуклида	$с^{-1}$ 2,7183 1 Бк

Атомная и ядерная физика

Окончание таблицы 21

Формулы	Обозначения	Единицы измерения
Дефект массы $\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_я = ZM_{^1_1H} + (A - Z)m_n - M_a$	Δm — дефект массы; m_p, m_n, $m_я$ — массы протона, нейтрона, ядра атома; $(A - Z)$ — число нейтронов в ядре; $M_{^1_1H}$, M_a — массы атома водорода, атома элемента	1 а. е. м. = $= 1{,}66 \cdot 10^{-27}$ кг
Энергия связи $E_{св} = \Delta m \cdot c^2$	$E_{св}$ — энергия связи	1 эВ = $= 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж
Удельная энергия связи $\varepsilon = \dfrac{E_{св}}{A}$	ε — удельная энергия связи	1 МэВ/нуклон
Ядерные реакции. Символическая запись $A + a \to B + b + \ldots$ или $A(a, b)B$. Энергия реакции $Q = c^2(m_A + m_a - m_B - m_b - \ldots)$. Энергия реакций распада $A \to B + b + \ldots - Q = c^2(m_A - m_B - m_b - \ldots)$	A, a — символы ядер и частиц, вступающих в реакцию; B, b — символы ядер и частиц — продуктов реакции; Q — энергия реакции (энергетический выход) (если $Q > 0$ — реакция с выделением тепла — экзотермическая, если $Q < 0$ — с поглощением — эндотермическая)	

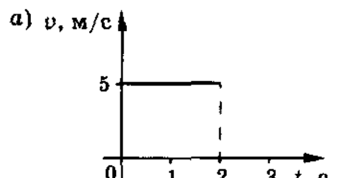
[1] В задачах используется $r_0 = 1{,}3 \cdot 10^{-15}$ фм.

Ответы

1. Кинематика

1.2. $l = 3{,}36$ млн км. **1.3.** ≈ 10 раз. **1.4.** Да, т. к. $d = 1{,}28$ см. **1.5.** $\frac{1}{717} = 0{,}0014$. **1.6.** Достаточно, т. к. миллионная доля составляет 65 см. **1.7.** Положить вплотную несколько иголок, измерить их общую толщину и разделить на число иголок. **1.8.** 40 км^2. **1.9.** $l = 1000$ км. **1.10.** В 8 раз. **1.12.** В 365 раз. **1.13.** $\approx 31{,}7$ года. **1.14.** $v = 1224$ км/ч. **1.15.** В 10,1 раза. **1.16.** $s = 2{,}6$ млн км. **1.17.** $t = 5$ мин. **1.18.** 250 м/с = 900 км/ч. **1.19.** $\eta = \frac{2t_1}{t_2} = 3{,}6 \cdot 10^4$. **1.20.** 10 мкм. **1.21.** $l = 5{,}5$ см. **1.22.** $v = 0{,}5$ м/с. **1.23.** $l = s\frac{v}{v_1} = 24$ см. **1.24.** $\Delta t = t - \frac{l}{v} = 16$ мин. **1.25.** $v_1 = v\frac{l}{l - vt} = 75$ км/ч. **1.26.** $v = 50$ км/ч. **1.27.** $v = \frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2} = 66$ км/ч. **1.28.** 1-й автомобиль — $v_{1\,ср} = \frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2} = 96$ км/ч; 2-й автомобиль — $v_{2\,ср} = \frac{v_1 + v_2}{2} = 100$ км/ч. Раньше приедет второй. **1.29.** $v = \frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2} = 48$ км/ч. **1.30.** $v = \frac{12v_1v_2}{5(v_1 + v_2)} = 700$ км/ч. **1.31.** $v_{ср} = \frac{v}{2} = 40$ км/ч. **1.32.** $n = 1 + \eta + \frac{\Delta t + \tau}{t} = 1{,}8$. **1.37.** $t = \frac{l + s}{v} = 2$ мин; нельзя. **1.38.** В такси — путь, в самолете — перемещение. **1.39.** $l = 5$ м; $\Delta s = 1$ м. **1.40.** $l = 700$ км; $\Delta s = 500$ км. **1.41.** A (20, 20); B (−10, 10); C (30, −10); D (−10, −10). $AB = AC = 31{,}6$ м; $AD = 42{,}4$ м; $DC = 40$ м. **1.42.** В системе XOY: A (10, 10); B (30, 20); C (10; −20). $AB \approx 22{,}4$ м; $AC = 30$ м. В системе $X'O'Y'$: A (−10, 0); B (10, 10); C (−10, −30). $AB \approx 22{,}4$ м. **1.43.** а) 1-я точка: начальное положение (−1, 2); конечное (−3, 1); 2-я точка: начальное положение (1, 2); конечное (3, 3); 3-я точка: начальное положение (−2, −1); конечное (−2, −3); 4-я точка: начальное положение (2, −1); конечное (3, −3). б) $\Delta s_{1x} = -2$ м; $\Delta s_{1y} = -1$ м; $\Delta s_{2x} = 2$ м; $\Delta s_{2y} = 1$ м; $\Delta s_{3x} = 0$; $\Delta s_{3y} = -2$ м; $\Delta s_{4x} = 1$ м; $\Delta s_{4y} = -2$ м. в) $\Delta s_1 \approx 2{,}24$ м; $\Delta s_2 \approx 2{,}24$ м; $\Delta s_3 \approx 2$ м; $\Delta s_4 \approx 2{,}24$ м. **1.44.** $\Delta t = 2$ с; $\Delta s_x = 5$ м; $\Delta s_y = -5$ м; $\Delta s \approx 7$ м. **1.45.** $\Delta s_x = 2$ м; $\Delta s_y = 2$ м; $\Delta s \approx 2{,}8$ м; $l = 4$ м. **1.46.** Встреча возможна





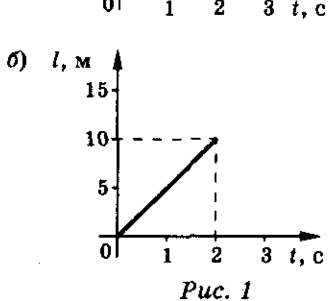


Рис. 1

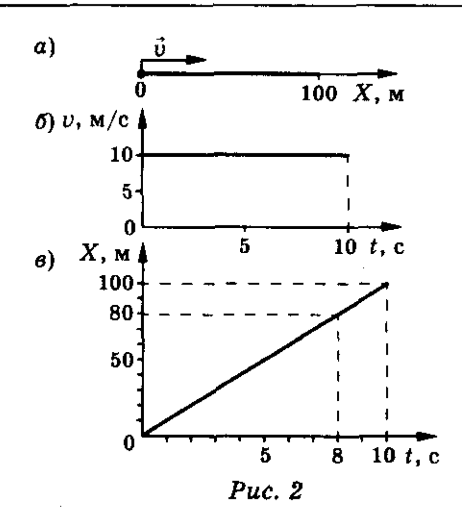
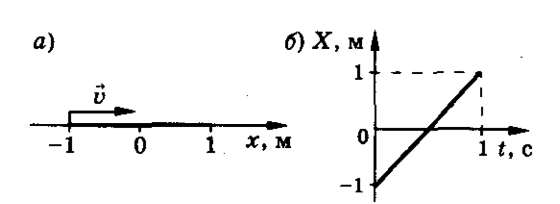


Рис. 2

в точке пространства $x = 2$ м, $y = 1{,}5$ м при условии, что они будут в ней одновременно, т. е. в один и тот же момент времени. **1.47.** $\upsilon = 5$ м/с; $l = 10$ м. См. рис. 1. **1.48.** Движение равномерное; $x_0 = 0$; $x_1 = 100$ м; $\upsilon = 10$ м/с; $\vec{\upsilon} \uparrow\uparrow \vec{x}$; $t_2 = 8$ с. См. рис. 2. **1.49.** $\upsilon_x = \dfrac{x_1 - x_0}{\Delta t} = 2$ м/с; $x = 10 + 2t$. **1.50.** $\upsilon_x = \dfrac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = -2$ м/с; $x = 7 - 2t$; $s = -4$ м; $l = 4$ м. **1.51.** а) $x_0 = -1$ м; б) $x_1 = 1$ м; в) $l = 2$ м; г), д) см. рис. 3. **1.52.** $\tau = 2$ с. См. рис. 4. **1.53.** а) $x_1 = \upsilon_1 t = 80t$ [км]; $x_2 = l - \upsilon_2 (t - \Delta t) = 60 - 20t$ [км]; б) $t_в = \dfrac{l + \upsilon_2 \Delta t}{\upsilon_1 + \upsilon_2} = 0{,}6$ ч; $x_в = \upsilon_1 \cdot t_в = 48$ км от пункта A. См. рис. 5. **1.54.** $t = \dfrac{l}{\upsilon_1 + \upsilon_2}$; $l_1 = \dfrac{\upsilon_1 l}{\upsilon_1 + \upsilon_2}$ (от начала движения



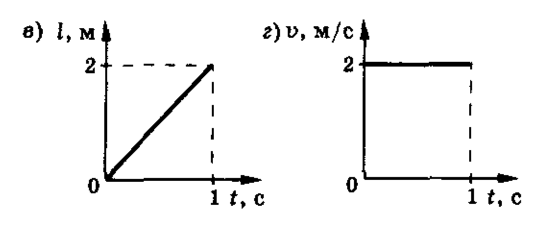


Рис. 3

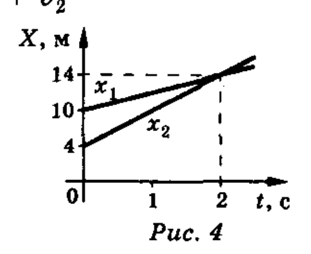


Рис. 4

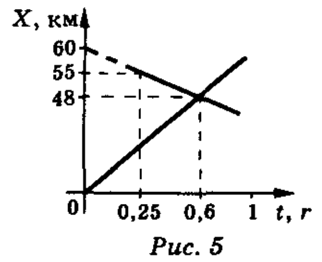


Рис. 5

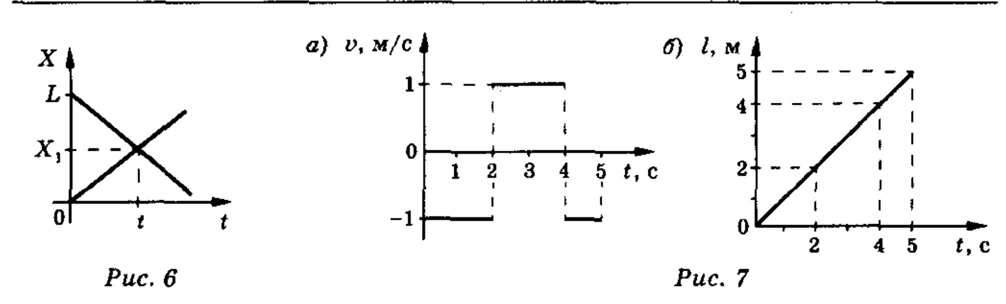


Рис. 6 *Рис. 7*

первого тела). См. рис. 6. **1.55.** а) $0 < t < 2$ с. Равномерное движение: $x = 1 - t$, $v_x = -1$ м/с; б) 2 с $< t <$ 4 с. Равномерное движение: $x = t - 3$; $v_x = 1$ м/с; в) 4 с $< t <$ 5 с. Равномерное движение: $x = 5 - t$; $v_x = -1$ м/с. См. рис. 7. $s = x(3) - x(0) = -1$ м; $l = |v_x| \cdot t_1 = 3$ м. $v_x = \dfrac{x(5) - x(0)}{t_2} = 0{,}2$ м/с; $v = \dfrac{s(t_2)}{t_2} =$ $= 1$ м/с. **1.56.** а) Движение периодическое, с периодом $T = 4$ с; б) $0 \leqslant t < 1$ с. Равномерное движение: $x = 1 + t$, $v_x = 1$ м/с; 1 с $< t <$ 2 с. Состояние покоя: $x = 2$ м, $v_x = 0$; 2 с $< t <$ 3 с. Равномерное движение: $x = 4 - t$, $v_x = -1$ м/с; 3 с $< t <$ 4 с. Состояние покоя: $x = 1$ м, $v_x = 0$; 4 с $< t <$ 5 с. Равномерное движение: $x = -3 + t$, $v_x = 1$ м/с; 5 с $< t <$ 6 с. Состояние покоя: $x = 2$ м, $v_x = 0$; 6 с $< t <$ 7 с. Равномерное движение: $x = 8 - t$, $v_x = -1$ м/с; 7 с $< t <$ 8 с. Состояние покоя: $x = 1$ м, $v_x = 0$; в) см. рис. 8, *а*; г) см. рис. 8, *б*; д) см. рис. 8, *в*; е) $s = x(5) - x(0) = 0$, $l = 2$ м. **1.57.** а) $0 < t < 1$ с. Равномерное движение: $x = -1 + 2t$, $x_к = 1$ м; б) 1 с $< t <$ 3 с. Равномерное движение: $x = 2 - t$, $x_к = -1$ м; в) 3 с $< t <$ 4 с. Равномерное движение: $x = 2t - 7$, $x_к = 1$ м; г) 4 с $< t <$ 5 с. Равномерное движение: $x = 5 - t$, $x_к = 0$; б) см. рис. 9;

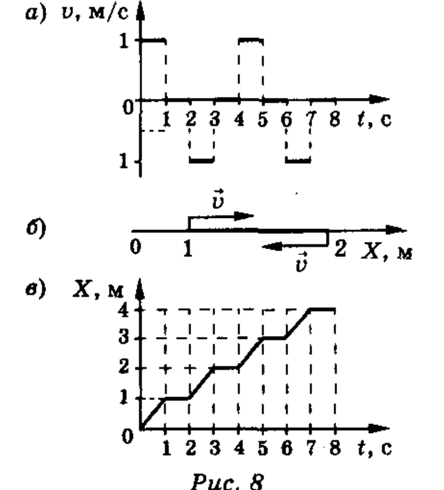


Рис. 8

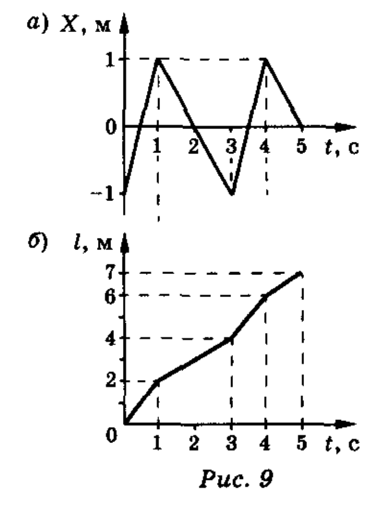


Рис. 9

Ответы

в) $s = x(2) - x(0) = 1$ м, $l = 3$ м; 4) $v_x = \frac{x(5) - x(0)}{t_0} = 0{,}2$ м/с, $v = \frac{s(5)}{t_0} = 1{,}4$ м/с. **1.60.** $v = 14$ м/с, $v_1 = 6$ м/с. **1.61.** $v_в = v\sin\alpha = 0{,}5$ м/с; $v_г = v\cos\alpha \approx 0{,}87$ м/с. **1.62.** $v_в = v\sin\alpha \approx 73{,}9$ км/ч; $v_г = 203$ км/ч. $h = 20{,}5$ м. **1.63.** $l = \sqrt{h^2 + s^2} = 1000$ м. **1.64.** а) $v_{отн} = v_2 - v_1 = 54$ км/ч; $t = \frac{l_1 + l_2}{v_2 - v_1} = 50$ с; б) $v_{отн} = v_1 + v_2 = 150$ км/ч; $t = \frac{l_1 + l_2}{v_1 + v_2} = 18$ с. **1.65.** $t = \frac{2t_1t_2}{t_2 - t_1} = 12$ ч. **1.66.** См. рис. 10. $v = 20$ км/ч; $u = 5$ км/ч. $v_1 = 25$ км/ч; $v_2 = 15$ км/ч. **1.67.** $t = \frac{s_1 + s_2 + l_1 + l_2}{v_1 - v_2} = 11$ с. **1.68.** $t = \frac{t_1t_2}{2t_2 - t_1} = 6$ мин. **1.69.** $t = \frac{t_1 \cdot t_2}{2t_2 - t_1} = 90$ с. **1.70.** $n = \frac{2n_1n_2}{3n_1 - n_2} = 100$. **1.71.** $l = (v_1 + v_2)t = 150$ м. **1.72.** $l_1 = \frac{v + u}{2v} \cdot l = 87{,}5$ м. **1.73.** $v_1 = v_2\sqrt{1 - \frac{2l}{v_2 t}} = 15$ м/с. **1.74.** $v = \frac{s}{2t} = 30$ км/ч. **1.75.** $n = 1$. **1.76.** Не изменится. **1.77.** $v_н = 0$, $v_в = 2v = 144$ км/ч, $v_1 = v\sqrt{2} = 101{,}8$ км/ч. **1.78.** $v_1 = v \cdot \mathrm{ctg}\,\alpha$. **1.79.** $v_1 = \sqrt{v^2 + u^2 - 2uv\cos\alpha} = 30{,}2$ м/с; $\beta = \alpha + \arcsin\left(\frac{u}{v_1}\sin\alpha\right) \approx 13°$. **1.80.** $u = \sqrt{u_0^2 - v^2\sin^2\alpha} - v\cos\alpha = \sqrt{u_0^2 - v^2/2} - v/\sqrt{2}$. **1.81.** $v_в = \sqrt{v^2 + u^2} = 28{,}2$ м/с, вертолет летит на северо-восток под углом $\alpha = \mathrm{arctg}\,\frac{u}{v} = 45°$ к меридиану. **1.82.** $\alpha = 90°$, $l = \frac{h}{v}\sqrt{u^2 + v^2}$; $t = \frac{h}{\sqrt{v^2 - u^2}}$. **1.83.** $t = \frac{l}{\sqrt{v^2 - u^2\sin^2\alpha} + u\cos\alpha} \approx 3$ мин. **1.84.** $\frac{t_1}{t_2} = \sqrt{\frac{v + u}{v - u}} = 1{,}27$. **1.85.** $s = \frac{l}{2} - vt\cos\alpha = 320$ м. **1.86.** $v = 124$ км/ч, на северо-запад под углом $\beta = 6°15'$ к меридиану. **1.87.** При $\alpha = 0$ время полета максимально, $t_{max} = \frac{2sv_c}{v_c^2 - v_в^2}$, при $\alpha = 90°$ время полета минимально, $t_{min} = \frac{2s}{\sqrt{v_c^2 - v_в^2}}$. **1.88.** $\alpha = 31°$.

Рис. 10

1.89. $v_2 = v \cos\alpha$. **1.90.** $v = v_2\sqrt{\left(\cos\alpha - \dfrac{v_1}{v_2}\right)^2 + \sin^2\alpha}\,/\sin\alpha$; $\cos\beta = \sin\alpha/\sqrt{\left(\cos\alpha - \dfrac{v_1}{v_2}\right)^2 + \sin^2\alpha}$. **1.91.** $t_2 = t_1\dfrac{v_2}{v_1} = 50$ с. **1.92.** $\Delta v = -at = -2$ м/с. **1.93.** $a = -4$ м/с^2. **1.94.** $l = 32{,}4$ м. **1.95.** $s = \dfrac{vt}{2} = 20$ м. **1.96.** $t = \dfrac{v}{a} \approx 3{,}3$ с; $l = \dfrac{v^2}{2a} = 27{,}8$ м. **1.97.** $a = \dfrac{v - v_0}{t} = 18{,}3$ м/с^2. **1.98.** $a = \dfrac{v^2 - v_0^2}{2s} = -6{,}75 \cdot 10^{-2}$ м/с^2. **1.99.** $t = \dfrac{2s}{v} \approx 24$ с; $a = \dfrac{v^2}{2s} \approx 2{,}8$ м/с^2. **1.100.** $v_0 = \dfrac{l}{t} - \dfrac{at}{2} = 1$ м/с. **1.101.** $a = \dfrac{2(l - v_0 t)}{t^2} = 4$ м/с^2. **1.102.** а) $t = \dfrac{2s}{v_0} = 1{,}8 \cdot 10^{-3}$ с; б) $a = \dfrac{v_0^2}{2s} \approx 2{,}2 \cdot 10^5$ м/с^2; в) $v_1 = v_0\sqrt{1 - s_1/s} = 282$ м/с; г) $s_2 = s\left(1 - \dfrac{1}{n^2}\right) = 0{,}32$ м; д) $v_2 = v_0\sqrt{1 - \eta} = 40$ м/с. **1.103.** $s_1 = v_0 t_1\left(1 - \dfrac{v_0 t_1}{4s}\right) = 9$ м. **1.104.** $l = \dfrac{3}{2}at^2$. **1.105.** $a = \dfrac{2l(n - 1)}{t^2(n + 1)} = 0{,}8$ м/с^2. **1.106.** $l = vt - \dfrac{at^2}{2} = 10$ м. **1.107.** $v_{ср} = \dfrac{v(v^2 + 2avt + 2as)}{2(v^2 + avt + 2as)} \approx 8$ м/с. **1.108.** $v = \dfrac{2s}{2t - t_1} = 11{,}1$ м/с; $v_{ср} = \dfrac{s}{t} = 10$ м/с. **1.109.** $v_1 = \sqrt{\dfrac{v^2 + v_0^2}{2}} = 5$ м/с. **1.110.** $s = vt - 2l = 1100$ м. **1.111.** См. рис. 11. $h = v\,(t_1 + t_2) = 27$ м. **1.112.** а) $a = \dfrac{2l}{2t - 1} = 2$ м/с^2; б) $v = at = 18$ м/с; в) $v_x = \sqrt{2as_x} = 10$ м/с. **1.113.** $s_1 : s_2 : s_3 \ldots = 1 : 3 : 5\ldots$ (как нечетный ряд натуральных чисел). **1.114.** За вторую секунду. **1.115.** $s_{12} = \dfrac{23}{19}s_{10} = 46$ м. **1.116.** $N = 2 + \left(\dfrac{t_2}{t_1}\right)^2 = 12$ вагонов; $t = t_2 - 5\sqrt{9} = 0{,}8$ с. **1.117.** $t_1 = t\,(\sqrt{n} - \sqrt{n - 1}) = 0{,}47$ с. **1.118.** $v_0 = \dfrac{l}{t_1} + \dfrac{l}{t_2} = 0{,}45$ м/с; $a = \dfrac{2l}{t_1 \cdot t_2} = 0{,}3$ м/с^2.

Рис. 11

Ответы



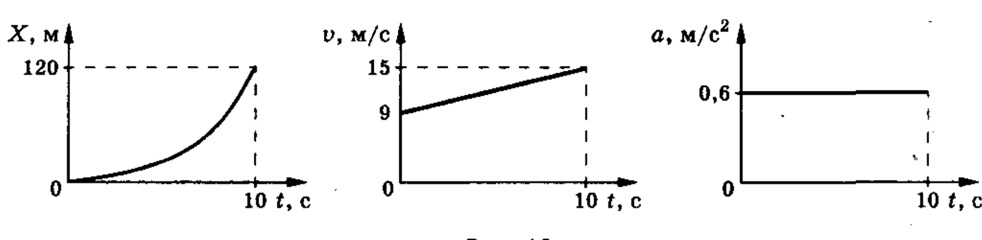


Рис. 12

1.119. $a = \dfrac{2(l_2t_1 - l_1t_2)}{t_1t_2(t_1 + t_2)} \approx 6{,}7$ см/с^2. **1.120.** $a = \dfrac{4v}{t} = 2$ м/с^2. **1.121.** $v = \sqrt{la} = 10^3$ м/с. **1.122.** Равноускоренное и прямолинейное движение. $v = 9 + 0{,}6\,t$; $a = 0{,}6$ м/с^2. См. рис. 12. **1.123.** $v_x = 6 - 0{,}25t_1 = 5{,}5$ м/с; $v_{ср} = 6 - 0{,}125t_2 = 4{,}75$ м/с. **1.124.** I. Равноускоренное движение: $x = 10 + 3{,}67t^2$. II. Равномерное движение: $x = 20 + 4t$. III. Равномерное движение: $x = 20 + 10t$. См. рис. 13. **1.125.** $l = 3$ м; $s = 1$ м; $v_{x\,ср} = \dfrac{s}{\Delta t} = 0{,}25$ м/с. **1.126.** а) $0 < t < t_1$. Равномерное движение: $x = x_0 + v_0t$; $v_0 = \dfrac{x_1 - x_0}{t_1}$; б) $t_1 < t < t_3$. Равнопеременное движение: $x = x_1 + v_0(t - t_1) + \dfrac{a(t - t_1)^2}{2}$, $a = \dfrac{x_1 - x_0}{t_1(t_2 - t_1)}$; t_2 — момент поворота тела (при $t < t_2$ тело удаляется от начала координат, при $t > t_2$ приближается к началу координат). См. рис. 14. **1.127.** $v_{ср} = 1{,}2$ м/с. **1.128.** $t = 12$ мин; $l = 14{,}4$ км. **1.129.** $t = t_2 + \sqrt{t_2(t_2 - t_1)}$.

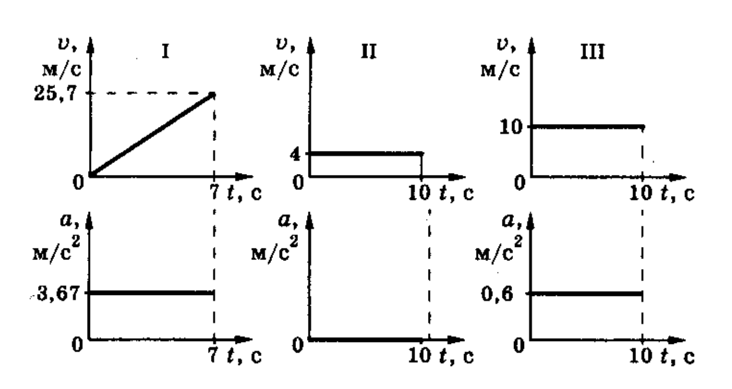


Рис. 13

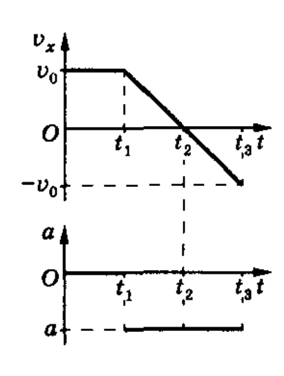


Рис. 14

Рис. 15

Рис. 16

Рис. 17

1.130. См. рис. 15. $v = 0$; $l = 90$ м. **1.131.** $t = t_2 + \Delta t + \sqrt{\frac{v}{a}(2t_2 - t_1 + \Delta t)} = 17{,}8$ с. См. рис. 16. **1.132.** а) $0 \leqslant t \leqslant 2$ с. Равнопеременное движение: $v = -3 + 3t$; $s = -3t + 1{,}5t^2$; $x = 2 - 3t + 1{,}5t^2$; б) 2 с $< t < 4$ с. Равномерное движение: $v = 3$ м/с; $s = 3t - 6$; $x = 3t - 4$; в) 4 с $\leqslant t \leqslant 6$ с. Равноускоренное движение: $v = 2t - 5$; $s = t^2 - 5t + 4$; $x = t^2 - 5t + 12$; см. рис. 17. $v_x = 2{,}7$ м/с; $v = 3{,}2$ м/с. **1.133.** 1) $0 \leqslant t \leqslant 1$ с. Равномерное движение: $x = 5 + 5t$, $v_1 = 5$ м/с; $a = 0$; 2) 1 с $\leqslant t \leqslant 2$ с. Равнопеременное движение: $x = 6 + 10t - 2{,}5t^2$; $v_{02} = 5$ м/с; $a_2 = -15$ м/с^2; 3) 2 с $\leqslant t \leqslant 3$ с. Равномерное движение: $x = 27{,}5 - 10t$; $v_3 = -10$ м/с^2; $a = 0$; 4) 3 с $\leqslant t \leqslant 4$ с. Равнопеременное движение: $x = 5t^2 - 40t + 75{,}2$ м; $v_{04} = -10$ м/с; $a = 10$ м/с^2. См. рис. 18. **1.134.** а) $0 \leqslant t \leqslant 2$ с.

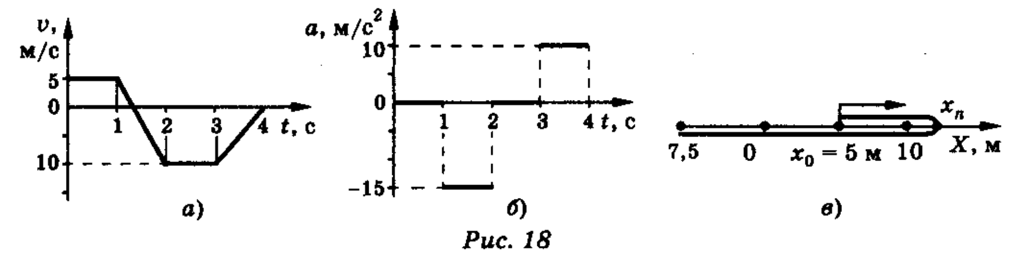


Рис. 18

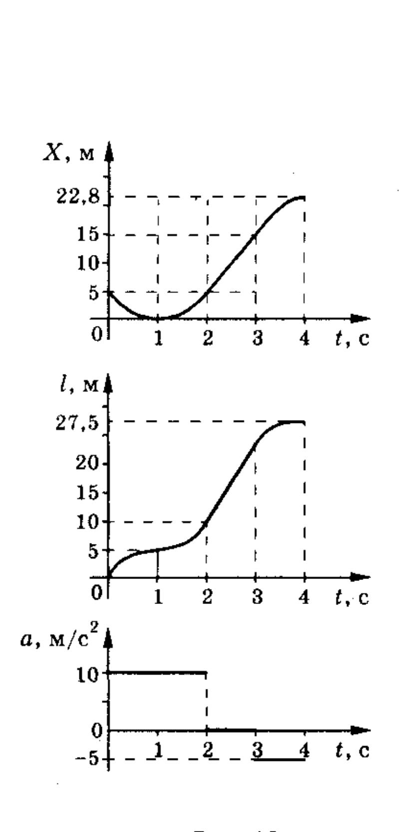


Рис. 19

Рис. 20

Равнопеременное движение: $x = 5 - 10t + 5t^2$; $\upsilon = -10 + 10t$; $a = 10$ м/с^2; б) 2 с $\leqslant t \leqslant$ 3 с. Равномерное движение: $x = 10t - 15$; $\upsilon = 10$ м/с; $a = 0$; в) 3 с $\leqslant t \leqslant$ 4 с. Равнопеременное движение: $x = -2{,}5t^2 + 25t - 37{,}5$; $\upsilon = -5t + 25$ м/с; $a = -5$ м/с^2. См. рис. 19. **1.135.** а) 1 с $< t <$ 4 с. Равнопеременное движение: $x = t^2 - 4t + 4$; $\upsilon_0 = -2$ м/с; $x_0 = 1$ м; $a = 2$ м/с^2; $\upsilon = 2t - 4$; б) −1 с $< t <$ 1 с. Равномерное движение: $x = 3 - 2t$; $\upsilon_0 = -2$ м/с; $x_0 = 5$ м; $a = 0$; в) −4 с $< t <$ −1 с. Равнопеременное движение: $x = 2{,}5 - 3t - 0{,}5t^2$; $\upsilon_0 = 1$ м/с; $x_0 = 6{,}5$ м; $a = -1$ м/с^2; $\upsilon = -t - 3$. См. рис. 20. $\upsilon_x = -0{,}3$ м/с; $\upsilon \approx 1{,}4$ м/с.

1.136. $t = \dfrac{\sqrt{\upsilon^2 + 2al} - \upsilon}{a}$. **1.137.** $\upsilon \geqslant \sqrt{2al}$. **1.138.** $\dfrac{t_2}{t_1} = \dfrac{\pi}{3} \approx 1{,}05$; первый

приедет раньше. **1.139.** $a = \dfrac{(v_1 - v_2)^2}{2s} = 5$ м/с^2. **1.140.** $a = \dfrac{(v_2 - v_1)^2}{2(s_1 - s_2)} = 3{,}3$ м/с^2. **1.141.** $t_0 = 2{,}5$ с; $x_0 = 14$ м; $x_1 = 37{,}2$ м. **1.142.** $v = 10$ м/с. **1.143.** $v = 2\sqrt{as} = 40$ м/с. **1.144.** $v_A = -2t_1 = -2$ м/с; $a_A = -2$ м/с; $v_B = -2$ м/с; $a_B = -4$ м/с. **1.145.** $s = l - \left(v_0 t_1 + \dfrac{(v_1 - v_0 + v_2)t_1^2}{2t}\right) = 640$ м. **1.146.** $t_1 = \dfrac{(v_0 + a_2 t) + \sqrt{(v_0 + a_2 t)^2 - a_2 t^2(a_2 - a_1)}}{a_2 - a_1} = 147{,}8$ с. **1.147.** $a_2 = 0{,}5$ м/с^2; $v_3 = 47$ м/с. **1.148.** $t_2 = \dfrac{2v_1 t + v_2 t_1}{2(v_2 - v_1)} \approx 9$ мин; $s = v_1(t_1 + t) \approx 13$ км. **1.149.** $v = \sqrt{v_0^2 + 2gh} \approx 37{,}5$ м/с; $v_1 = v$. **1.150.** а) $t = \dfrac{v}{g} = 2$ с; б) $t = 2\dfrac{v}{g} = 4$ с. **1.151.** $n = 2$. **1.152.** $h = h_1 + \dfrac{g}{2}\left(\dfrac{h_1 - h_2}{gt} - \dfrac{t}{2}\right)^2 \approx 1223$ м. **1.153.** $\Delta t = t - \sqrt{\dfrac{2h}{g}} \approx 102$ с. **1.154.** $v_0 = \dfrac{h}{\sqrt{2h/g} - \Delta t} - \dfrac{g}{2}\left(\sqrt{\dfrac{2h}{g}} - \Delta t\right) = 14{,}7$ м/с. **1.155.** $t_1 = \sqrt{\dfrac{2h_1}{g}} \approx 0{,}45$ с; $t_2 = \dfrac{\sqrt{2h} - \sqrt{2h - 2}}{\sqrt{g}} = 0{,}023$ с; $l = \dfrac{g}{2} \approx 4{,}9$ м; $l_2 = \sqrt{\dfrac{gh}{2}} - \dfrac{g}{2} \approx 40$ м. **1.156.** $H = \dfrac{1}{2g}\left(\dfrac{h}{t} - \dfrac{gt}{2}\right)^2 = 2{,}17$ м. **1.157.** $H = \dfrac{1}{2g}\left[v^2 - \left(\dfrac{h}{t} + \dfrac{gt}{2}\right)^2\right] \approx 1{,}43$ м. **1.158.** $t = \dfrac{\Delta h}{g\Delta t} + \dfrac{\Delta t}{2} \approx 7$ с; $h \approx 245$ м. См. рис. 21. **1.159.** $v = \dfrac{(\sqrt{2} + 1)\sqrt{gh}}{8} = 25{,}3$ м/с. **1.160.** $h = \dfrac{gt^2}{8}(n + 1)^2 = 4{,}5gt^2$. **1.161.** $h = 0{,}78gt^2$. **1.162.** $h = v_0 t - \dfrac{5}{2}gt^2 = 0$; $v_{отн} = gt = 1{,}96$ м/с; $N = 5$. **1.163.** $s = l = 1$ м. См. рис. 22.

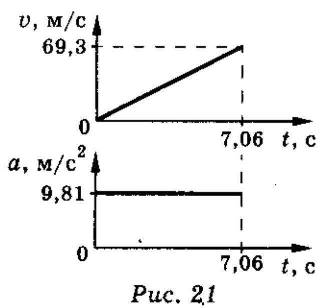


Рис. 21

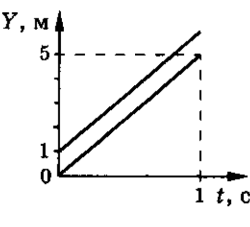


Рис. 22

Ответы

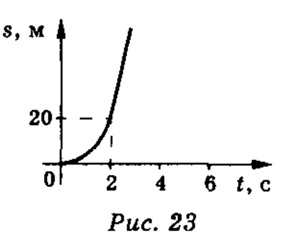


Рис. 23

1.164. 1) $0 \leqslant t \leqslant 2$ с, $s_1 = \frac{gt^2}{2} = 5t^2$(парабола); 2) $t \geqslant \Delta t$, $s = \frac{g(\Delta t)^2}{2} + g\Delta t(t - \Delta t) = 20t - 20$ (прямая). См. рис. 23. **1.165.** $v_{ср} = \frac{gh}{v + \sqrt{v^2 + 2gh}} = 4{,}9$ м/с; $v = \frac{v^2 + gh}{v + \sqrt{v^2 + 2gh}} = 8$ м/с. **1.166.** $t = t_0(3 + \sqrt{6}) \approx 109$ с; $t_{пов} = 60$ с. См. рис. 24. **1.167.** $H = \frac{ht_2^2}{t_1^2}\left(1 + \frac{2h}{gt_1^2}\right) \approx 30{,}1$ м; $v_1 = -\frac{t_2}{t_1}\sqrt{2gh\left(1 + \frac{2h}{gt_1^2}\right)} = -24{,}3$ м/с; $s = 72$ м. См. рис. 25. **1.168.** $t = \frac{v_0 + \sqrt{v_0^2 + 2gh}}{g}$; $v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$.

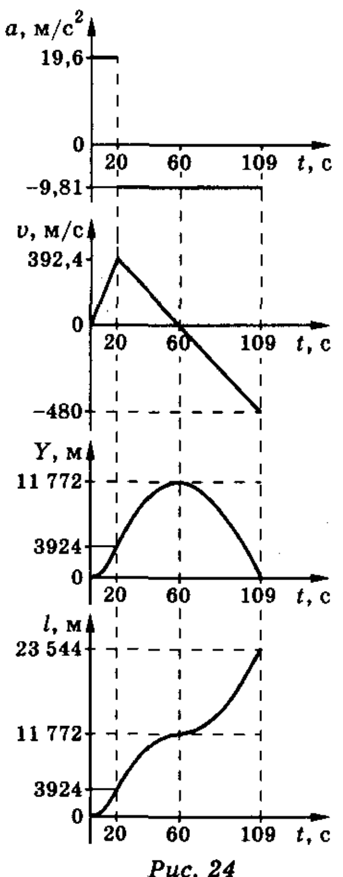


Рис. 24

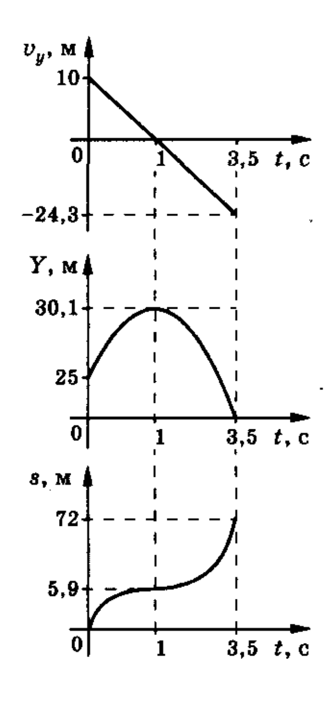


Рис. 25

1. Кинематика

1.169. $h = \frac{v_0^2 - u^2}{2g} = 1$ м. **1.170.** $\Delta t = \frac{H}{v} - \frac{\sqrt{(v + v_0)^2 + 2gH} - (v_0 + v)}{g} =$ $= 16{,}8$ с. **1.171.** $t = \frac{2v_0}{g} \approx 2{,}04$ с; $v_1 = -(v_0 + v) = -15$ м/с; $h = -\frac{2vv_0}{g} =$ $= -10{,}2$ м. **1.172.** $s = \frac{(v_1 + v_2)^2}{2g} = 7{,}3$ м. **1.173.** $l = h\frac{n^2 + 1}{n^2 - 1} = 25$ м. **1.174.** $t = 2\sqrt{\frac{H}{g}}$. **1.175.** $h = \frac{v}{g}(gt + v - \sqrt{v^2 + 2gtv}) \approx 150$ м. **1.176.** $v_0^2 \geqslant \frac{gH}{2}$, $t = \frac{H}{v_0}$; а) $v_0^2 = gH$, $v_ш = 0$; б) $v_0^2 > gH$; $v_ш > 0$, движется вверх; в) $\frac{gH}{2} < v_0^2 < gH$; $v_ш < 0$, вниз. **1.177.** $v = A + B(t_2^2 + t_1t_2 + t_1^2) = -0{,}5$ м/с; $x_n = 16$ м. **1.178.** Направление движения определяется направлением скорости. $v = 4t - 12t^2$; $a = 4 - 24t$. а) $v_1 = 0{,}25$ м/с > 0 (по оси); $a_1 = -2$ м/с^2; б) $v_2 = -1$ м/с < 0 (против оси); $a_2 = -8$ м/с^2. **1.179*.** $a = 9t^2 - 5$; $a_1 = 220$ м/с^2. **1.180.** $v = \frac{\alpha^2 t}{2}$; $a = \frac{\alpha^2}{2}$; $\langle v \rangle = \frac{\alpha}{2}\sqrt{l}$. **1.181.** $\Delta\vec{r} = -3\vec{i} - 4\vec{j}$; $\Delta r = 5$ м; $\Delta r_x = -3$ м; $\Delta r_y = -4$ м. **1.182.** $v =$ $= \frac{s_1 + s_2 + v_3t_3}{t_1 + t_2 + t_3} = 4{,}4$ км/ч; $|\vec{v}_{ср}| = \frac{\sqrt{(s_1 - v_3t_3\sin 45°)^2 + (s_2 - v_3t_3\cos 45°)}}{t_1 + t_2 + t_3} =$ $= 2{,}2$ км/ч. **1.183.** $v_{ср} = \frac{\sqrt{3}v_1v_2}{v_1 + v_2} \approx 23$ м/с; $v = \frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2} \approx 27$ м/с. **1.184.** $v_{ср} =$ $= \frac{\sqrt{v_1^2 + v_2^2 + v_1v_2}}{2} = 26{,}5$ м/с; $v = \frac{v_1 + v_2}{2} = 30$ м/с. **1.185.** $\sin\alpha \geqslant \frac{av_1}{bv_2} =$ $= 0{,}6$; $36°52' \leqslant \alpha \leqslant 143°08'$. **1.186.** $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} \approx 8$ м/с. **1.187*.** $v =$ $= \sqrt{v_1^2 + v_2^2 - 2v_1v_2\cos\alpha} \approx 6{,}1$ м/с; $\beta = \pi - \arcsin\left[\frac{v_1}{v}\sin\alpha\right] = 145{,}3°$. **1.188.** Нет; $s_{min} = \frac{l_1v_2 - l_2v_1}{\sqrt{v_1^2 + v_2^2}} \approx 7$ см. **1.189.** $u = v \cdot \operatorname{tg}\alpha = \frac{v}{\sqrt{3}}$. **1.190.** Да; $t = \frac{a}{v}$; $n = \infty$. **1.191.** $a = \frac{v}{\Delta t}\sqrt{1 + n^2 - 2n\cos\alpha} = 3{,}46$ м/с^2. **1.192.** $a =$ $= \frac{v}{t}\sqrt{\frac{n_1^2(n_2^2 - 2) + 1}{2}} = 3{,}08$ м/с^2; $\alpha = \arccos\frac{3 + n_1^2n_2^2 - 4n^2}{2\sqrt{2[n_1^2(n_2^2 - 2) + 1]}} = 75{,}8°$.

Ответы

1.193. $t = \frac{\upsilon\sqrt{2}}{a}$. **1.194.** а) $\vec{r}_0 = 2j$, $r_0 = 2$ м; $\vec{r}_1 = 2\vec{i} + 5j$, $r_1 = \sqrt{29}$ м; $\vec{r}_2 = 4\vec{i} + 14j$; $r_2 \approx 14{,}5$ м; б) $\Delta r = 4\vec{i} + 12j$; $\Delta r = 12{,}6$ м; $\Delta r_2 = 2\vec{i} + 9\vec{j}$, $\Delta r_2 = 9{,}2$ м; в) $y = 2 + 0{,}75x^2$; г) см. рис. 26; д) $\vec{\upsilon} = 2\vec{i} + 6t\vec{j} = 2\vec{i} + 12\vec{j}$; $\upsilon \approx 12{,}2$ м/с; е) $\vec{a} = 6\vec{j}$; $a = 6$ м/с^2; ж) $\alpha = \arccos\frac{a_x\upsilon_x + a_y\upsilon_y}{a\cdot\upsilon} = 80°$; з) $a_0 = a \cdot \cos\alpha = 5{,}9$ м/с^2; и) $a_n = a \cdot \sin\alpha = 1{,}09$ м/с^2; к) $R = \frac{\upsilon^2}{a_n} = 150$ м. **1.195.** $y = 1 - \frac{x^2}{4}$; $\vec{\upsilon} = 2\vec{i} - 2t\vec{j}$; $\vec{a} = -2\vec{j}$. **1.196.** $\vec{a} = 2\gamma_1\vec{i} + 2\gamma_2\vec{j} = -2\vec{i} + 4\vec{j}$; $\alpha = \arccos\frac{a_x\upsilon_x + a_y\upsilon_y}{a\cdot\upsilon} \approx 15°$. **1.197.** $\upsilon_y = 0{,}1t + 5{,}625t^2$. **1.198.** $x = \frac{d}{2\upsilon_0}y^2$; $\upsilon = \sqrt{\upsilon_0^2 + \alpha^2y^2}$. **1.199.** Да. $t = 0{,}4$ с; $x = 0{,}8$ м, $y = 3{,}2$ м. **1.200.** $x^2 + y^2 = R^2$, траектория движения — окружность. $A(O, R)_{t_0 = 0}$. Частица движется в направлении движения часовой стрелки. $\vec{\upsilon} = R\omega\cos\omega t \cdot \vec{i} - R\omega\sin\omega t \cdot \vec{j}$, $\upsilon = R\omega$. **1.201.** $\vec{\upsilon} = -A\omega\sin\omega t \cdot \vec{i} + B\omega\cos\omega t \cdot \vec{j}$; $\vec{a} = -A\omega^2\cos\omega t \cdot \vec{i} - B\omega^2\sin\omega t \cdot \vec{j}$; $\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} = 1$; $\tau = \frac{\pi n}{2\omega}$, где $n = 0, 1, 2, \ldots$. **1.202.** $x_1^2 + y_1^2 = 4$; $y_2 = 1 - \frac{x_2^2}{4}$; $l = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} = 4$ м. См. рис. 27. **1.203.** $s = 2\pi\Delta R = 2575$ км. **1.204.** $\upsilon = \frac{2\pi}{T}R \approx 10$ км/с. **1.205.** $\upsilon = 2\pi\frac{N}{t}(R + h) = 7{,}8$ км/с. **1.206.** $\omega = \frac{2\pi}{T} = 1{,}26$ рад/с; $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{T}\Delta t = 2{,}5$ рад $= 144°$. **1.207.** $n = \frac{\upsilon}{\pi d} = 80$ об/с; $a_n = \frac{2\upsilon^2}{d} = 5 \cdot 10^4$ м/с^2. **1.208.** $\omega = 2\pi n_1\frac{R_1}{R_2} = 16{,}8$ рад/с; $n_2 = n_1\frac{R_1}{R_2} = 160$ об/мин; $\upsilon = 2\pi n_1 R_1 = 4{,}02$ м/с. **1.209.** $n = \frac{\upsilon_1 - \upsilon_2}{2\pi l} \approx 1{,}6$ об/с. **1.210.** $R = \frac{kd}{k - 1} = 8{,}33$ см.

Рис. 26

Рис. 27

1.211. $v = \dfrac{2\pi nl}{\varphi} = 400$ м/с. **1.212.** а) $v = \dfrac{2\pi R}{T} = 465$ м/с; $a_n = \dfrac{4\pi^2 R}{T^2} = 0{,}034$ м/с^2; б) $v = \dfrac{2\pi R\cos\varphi}{T} = 233$ м/с; $a_n = \dfrac{4\pi^2 R\cos\varphi}{T^2} = 0{,}017$ м/с^2.

1.213. $a_1 = \dfrac{v_2^2 R}{(R+l)^2} = 13{,}7$ м/с^2; $a_2 = \dfrac{v_2^2}{R+l} \approx 15$ м/с^2; $a_3 = \dfrac{v_2^2(R+2l)}{(R+l)^2} = 16{,}6$ м/с^2. **1.214.** $t = \dfrac{5\pi}{3(\omega_K - \omega_M)} = 52$ с. **1.215.** $t = \dfrac{3\pi R}{4(v_{\text{М}} - v_{\text{К}})} \approx 4{,}2$ с.

1.216. $t = \dfrac{T_1 \cdot T_2}{T_1 + T_2} = 1{,}4$ с. **1.217.** $N = \dfrac{t(T_{\text{ч}} - T_{\text{с}})}{T_{\text{ч}} \cdot T_{\text{с}}} = 1438$, не считая начального положения, когда стрелки находятся вместе. **1.218.** $\varphi = \dfrac{vt(R-r)}{Rr} = 3$ рад. **1.219.** а) $s = 0$; б) $s = 2R = 2$ м; в) $s = 2R\sin\dfrac{\Delta\varphi}{2} = R\sqrt{2} = 1{,}4$ м; г) $s = 2R\sin\dfrac{\alpha}{2} = 1$ м. **1.220.** $v = \dfrac{\pi R}{\Delta t} = 31{,}4$ см/с, $|\vec{v}_{\text{ср}}| = \dfrac{2R}{\Delta t} = 20$ см/с.

1.221. 1) $v_A = 0$; $v_C = 2v = 4$ м/с; $v_B = v_D = v\sqrt{2} \approx 2{,}8$ м/с; $v_E = 2v\sin\dfrac{\alpha}{2} = 2$ м/с. 2) У точек, лежащих на расстоянии $R = 0{,}5$ м от точки A, скорость $v = 2$ м/с. **1.222.** $v = \dfrac{v_2 - v_1}{2} = 4$ м/с. **1.223.** $v_C = v_D = \sqrt{\dfrac{v_A^2 + v_B^2}{2}} = 4{,}5$ м/с; $\alpha = \operatorname{arctg}\dfrac{v_A - v_B}{v_A + v_B} \approx 27°$. **1.224.** $\omega = \dfrac{v_1 + v_2}{2R}$. **1.225.** $v_0 = \dfrac{Rv}{R-r}$, вправо; $v_0 = \dfrac{Rv}{R+r}$, вправо. **1.226.** $v_{\text{в}} = \dfrac{l}{t}\left(1 + \dfrac{2R}{\sqrt{4R^2 - d^2}}\right) = 1{,}35$ м/с; $v_{\text{н}} = \dfrac{l}{t} \times \left(\dfrac{2R}{\sqrt{4R^2 - d^2}} - 1\right) = 0{,}15$ м/с. **1.227.** $v = B + 2Ct = 8$ м/с; $a_n = \dfrac{v^2}{R} = 1{,}6$ м/с^2; $a_\tau = 2C = -1$ м/с^2; $a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} \approx 1{,}9$ м/с^2. **1.228.** $\omega = 2 - 3t^2$; $v = R(2 - 3t^2) = 0{,}2 - 0{,}3t^2$; $\varepsilon = -6t$. **1.229.** $v = A = 1$ м/с; $\omega = \dfrac{A}{R} = 10$ рад/с; $a = a_n = \dfrac{A^2}{R} = 10$ м/с^2; $N = \dfrac{At}{2\pi R} \approx 8$ оборотов. **1.230.** $\alpha = \operatorname{arctg}(\varepsilon t^2) = 45°$.

Ответы

1.231. $\alpha = \mathrm{arctg}\,(4\pi) \approx 85{,}5°$. **1.232.** $l = 2$ м; $a \approx 4{,}5$ м/с^2. **1.233.** $v = 12$ м/с. **1.234.** $a_n = \dfrac{a_0^2 t^2}{R} = 0{,}08$ м/с^2, $a_\tau = a_0 = 0{,}1$ м/с^2, $a = a_0\sqrt{1 + \dfrac{a_0^2 t^4}{R^2}} = 0{,}128$ м/с^2. **1.235.** $v_A = 0$; $v_B = 2\,(1 + 2t) = 4$ м/с; $v_C = v_D = \sqrt{2}\,(1 + 2t) = 2{,}8$ м/с; $a_A = 4$ м/с^2; $a_B = 5{,}66$ м/с^2; $a_C = 6{,}32$ м/с^2; $a_D = 2{,}83$ м/с^2. **1.236.** $\alpha = 4\pi$. **1.237.** $N = 3$. **1.238.** $\omega = \dfrac{\omega_1 R + \omega_2 r}{R - r} = 20$ рад/с. **1.240.** $v = l\sqrt{\dfrac{g}{2h}} = 1{,}5 \cdot 10^3$ м/с. **1.241.** $h = H - \dfrac{v^2 \mathrm{tg}^2\,\alpha}{2g}$; $R = \dfrac{v^2(1 + \mathrm{tg}^2\,\alpha)}{g\cos\alpha}$; $l = H$. **1.242.** $v = gt\sqrt{2} \approx 70$ м/с; $t_1 = t\sqrt{3} \approx 9$ с. **1.243.** $v_0 = \cos\alpha\sqrt{\dfrac{gl}{2\sin\alpha}} = 15{,}7$ м/с. **1.244.** $\mathrm{tg}\,\alpha = \dfrac{g}{v_0^2}x$; $\beta = \mathrm{arctg}\left(\dfrac{g}{v_0^2}\right)$. См. рис. 28. **1.245.** $s = \dfrac{l^2}{4h}\sqrt{21} = 51{,}6$ м; $\alpha = \mathrm{arctg}\,\dfrac{\sqrt{3}}{2} = 41°$. **1.246.** $s = 51{,}7$ м; $\alpha = 43{,}7°$. **1.247.** $l = (u + v)\sqrt{\dfrac{2H}{g}} = 500$ м. **1.248.** Отвесная линия. Парабола. **1.249.** $v \geqslant R\sqrt{\dfrac{g}{2H}}$. **1.251.** $\alpha = \mathrm{arctg}\,2 = 63°26'$. **1.252.** $\dfrac{l_1}{l_2} = 1$; $\dfrac{h_1}{h_2} = \mathrm{tg}^2\alpha$. **1.253.** $v_0 = \dfrac{gt}{\sin\alpha} = 83$ м/с. **1.254.** $\dfrac{v_1}{v_2} = \sqrt{\dfrac{\sin 2\alpha_2}{\sin 2\alpha_1}} = 1{,}07$.

Рис. 28

1.255. Через $t_1 = 0{,}41$ мин или $t_2 = 0{,}72$ мин (зависит от начального угла). **1.256.** $s = 6$ м. **1.257.** $y_1 = y_2 = \dfrac{v_0^2}{2g}(\sin^2\alpha - \cos^2\alpha \cdot \mathrm{tg}^2\,\beta) \approx 10$ м; $x_{1,2} = \dfrac{v_0^2}{2g}\,\dfrac{\cos\alpha\,\sin(\alpha \mp \beta)}{\cos\beta}$, $x_1 \approx 7{,}5$ м и $x_2 \approx 28$ м. **1.258.** $m = \dfrac{2v_0^2\rho S\sin\alpha}{g} = 2{,}3$ кг. **1.259.** $x = \dfrac{2v_0^2\cos\alpha \cdot \cos\beta}{g\sin(\alpha + \beta)}$. **1.260.** $R_0 = \dfrac{v^2}{g\cos\alpha} \approx 14{,}4$ м; $R_1 = \dfrac{(v^2 - 2vgt\sin\alpha + g^2t^2)^{3/2}}{gv\cos\alpha} = 5{,}8$ м; $R_2 = \dfrac{v^2\cos^2\alpha}{g} = 5{,}1$ м. **1.261.** а) $\alpha = \arccos\left(\dfrac{1}{\eta^{1/3}}\right) = 60°$; б) $\alpha = \mathrm{arctg}\,\sqrt{2} = 54{,}8°$. **1.262.** $R = \dfrac{gT_1T_2}{2\sqrt{2}}$. **1.263.** $v_0 =$

$= 18{,}5$ м/с; $\alpha = 76°29'$. **1.264.** а) $v = v_0 \sin\alpha - gt$; б) $v = v_0 \sin\alpha - \dfrac{gx}{v_0 \cos\alpha}$. См. рис. 29. **1.265.** $\Delta\vec{r} = 10\vec{i} + 12{,}3\vec{j}$; $\Delta r = 15{,}85$ м; $\beta = 30{,}9°$. **1.266.** $\alpha = \operatorname{arctg}\left(\dfrac{v_{0y}}{v_{0x}}\right) = 33{,}7°$. **1.267.** $v_0 = \sqrt{3gR}$.

1.268. $v_0 = \sqrt{g\left(H + h + \sqrt{(H-h)^2 + l^2}\right)}$.

1.269. а) $y = h + v_0 \sin\alpha \cdot t - \dfrac{gt^2}{2}$; $x = v_0 t \cos\alpha$; $y = h + x \operatorname{tg}\alpha - \dfrac{gx^2}{2v_0^2\cos^2\alpha}$; б) $t = 9{,}68$ с;

Рис. 29

$H = 136$ м; $l = 242$ м; $v = 57{,}3$ м/с. **1.270.** $v_{ср} = 17{,}3$ м/с; $\beta = 6{,}7°$. **1.271.** $v_0 = \dfrac{1}{2}\sqrt{\dfrac{gL}{\sin\alpha}} \approx 10$ м/с. **1.272.** $l = \dfrac{2v_0^2 \cos\beta \sin(\beta - \alpha)}{g\cos^2\alpha}$. **1.273.** $v_0 = \dfrac{s}{\cos\alpha} \times \sqrt{\dfrac{g}{2(h + s\operatorname{tg}\alpha)}}$. **1.274.** $s = 8h\sin\alpha = 8$ м. **1.275.** $\alpha = \arcsin\left(\dfrac{s}{8h}\right) = 30°$.

1.276. $h = H\operatorname{ctg}\alpha + \dfrac{v^2\sin 2\alpha}{2g}\left(1 - \sqrt{\dfrac{2gH}{v^2\sin^2\alpha} + 1}\right)$. **1.277.** $h = 2R\sin^2\dfrac{\alpha}{2} + \dfrac{v_\tau^2\sin^2\alpha}{2g}$; без пробуксовки $v_\tau = v$; с пробуксовкой $v_\tau > v$ и h больше (v_τ — линейная скорость точек обода колеса). **1.278.** $v_0 = \sqrt{g\left(\sqrt{h^2 + l^2} - h\right)}$; $\alpha = \dfrac{\pi}{4} - \dfrac{1}{2}\operatorname{arctg}\left(\dfrac{h}{l}\right)$; $\beta = \dfrac{\pi}{4} + \dfrac{1}{2}\operatorname{arctg}\left(\dfrac{h}{l}\right)$. **1.279.** $t = \dfrac{2v\operatorname{ctg}\alpha}{g}$ при $v\cos\alpha < \sqrt{2gl\sin\alpha}$; $t = \dfrac{v\operatorname{ctg}\alpha}{g}\left(1 - \sqrt{1 - \dfrac{2gl\operatorname{tg}\alpha}{v^2\cos\alpha}}\right)$ при $v\cos\alpha > \sqrt{2gl\sin\alpha}$. **1.280.** $v = \sqrt{\dfrac{l(a+g)}{\sin 2\alpha}} \approx 352$ м/с. **1.281.** $\alpha = \operatorname{arctg}\left(\dfrac{h}{l}\right) = 11{,}3°$; $v_0 \geqslant \dfrac{g}{\cos\alpha}\sqrt{\dfrac{g}{2h}} \approx 36{,}4$ м/с. **1.282.** $h = \dfrac{2u(v\cos\alpha - u)}{g} \cdot \operatorname{tg}^2\alpha$. **1.283.** $\Delta t = \dfrac{2v_0 \sin(\alpha_1 - \alpha_2)}{g(\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2)} \approx 11$ с. **1.284.** $\alpha = \arcsin(v_1/v_2) = 30°$; $t = \dfrac{l}{2v_1\cos\alpha} = 0{,}58$ с. **1.285.** $v = v_0\sqrt{2(1 - \sin\alpha_1 \cdot \sin\alpha_2)} = 10{,}65$ м/с. **1.286.** Сфера радиуса $R = vt$, центр которой ниже точки выброса

шариков на $\frac{gt^2}{2}$. **1.287.** Если $h > \frac{v^4}{4g(v^2 + 2gH)}$, то $R = \frac{v}{g}\sqrt{v^2 + 2gH}$; если $h < \frac{v^4}{4g(v_0^2 + 2gH)}$, то $R = \frac{1}{g}\sqrt{v^2 - 2gh}\left(\sqrt{2gh} + \sqrt{2g(h + H)}\right)$. **1.288.** $v_0 = \sqrt{2gh}\,\mathrm{ctg}\,\alpha \approx 28$ м/с. **1.289.** $v_0 = \frac{g(\sqrt{2} - 1)t_0}{\sin\alpha} \approx 32{,}5$ м/с. **1.290.** $h = \frac{\eta(2 + \eta)v_0^2\sin^2\alpha}{2g} \approx 6{,}7$ м. **1.291.** $\alpha_2 = \frac{1}{2}\arcsin\left(\frac{(2 - \eta_1)\sin 2\alpha_1}{n(2 - \eta_2)}\right) \approx 18{,}8°$.
1.292. $l = \frac{v^2}{g\cos\alpha}\left(\cos\alpha + 2\,\mathrm{tg}\,\alpha \cdot \sin^2\left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{4}\right)\right) \approx 46$ м.

2. Динамика

2.1. $m \approx 1{,}4$ млрд т $= 1{,}4 \cdot 10^{12}$ кг. **2.2.** $m_1 = \frac{m}{n^3} = 1$ кг. **2.3.** $m = 55$ г. **2.4.** $m = \frac{\rho_2 m_1 - \rho_1 m_2}{\rho_2 - \rho_1} = 4$ кг. **2.5.** $m_1 = m\frac{\rho_л}{\rho} = 68$ кг, где $\rho_л$ — плотность латуни. **2.6.** $S \approx 1{,}04$ м^2. **2.7.** $m_1 = 19{,}5$ кг; $m_2 = 6{,}75$ кг. **2.8.** $m_1 = \frac{(\rho - \rho_c)\rho_з m}{\rho(\rho_з - \rho_c)} = 0{,}22$ кг; $\eta = \frac{m_1}{m} \cdot 100\% \approx 55\%$. **2.9.** $m = 69{,}6$ г. **2.19.** Массы равные, $\frac{P_З}{P_Л} = 6$.
2.20. $F = 9{,}8$ Н. **2.22.** $P \approx 121$ Н. **2.23.** а) Пружинные: $mg - F = 1120$ Н; десятичные: $P + F = 1050$ Н; б) пружинные: $mg + F = 1820$ Н; десятичные $P - F = 350$ Н. **2.28.** а) $m_1 a = 29{,}4$ Н; б) $m_2 g = 49$ Н. **2.29.** Чтобы не увеличивать трение скольжения поручней о направляющие пластины, по которым они скользят. **2.30.** Нет, т. к. действует сила сопротивления воздуха и сила трения качения, уменьшающие его скорость. **2.31.** а) $\vec{N} + m\vec{g} = 0$ (сумма сил, действующих на груз, равна нулю). Груз движется по инерции. См. рис. 30, *а*). б), в) $\vec{F}_{тр} = m\vec{a}$ сила трения покоя сообщает грузу ускорение,

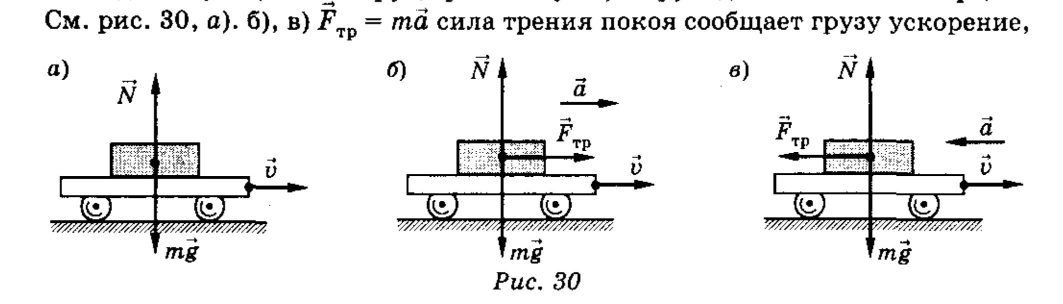


Рис. 30

сонаправленное с ней. См. рис. 30, *б*, *в*). **2.33.** $k = 50$ Н/м. **2.34.** $l = l_0 + \frac{F}{k} = 0{,}3$ м. **2.35.** Верно только последнее утверждение. **2.37.** $a = \frac{F}{m} = 0{,}1$ м/с^2. **2.38.** $F_2 = F_1\frac{a_2}{a_1} = 50$ Н. **2.39.** $F_2 = F_1\frac{m_2}{m_1} = 30$ Н. **2.40.** $F = \frac{mv^2}{2l} = 2{,}86 \times 10^5$ Н. **2.41.** 1); 4); 5). **2.42.** а) $v = \sqrt{v_0^2 + 2\frac{F}{m}l} = 10{,}6$ м/с. Прямолинейное равноускоренное движение. б) $v = \sqrt{v_0^2 - 2\frac{F}{m}l} = 4$ м/с. Прямолинейное равнозамедленное движение. в) $v = v_0 = 8$ м/с. Равномерное движение по окружности радиусом $R = \frac{mv^2}{F} = 26{,}6$ м. **2.43.** $v_0 = \frac{x - x_0}{t - t_0} - \frac{F}{2m}(t - t_0)$. **2.44.** $F = m\frac{v_x}{t} = 500$ Н. **2.45.** $F = m(2C + 6Dt)$; $F_1 = -0{,}8$ Н; $F_2 = -8$ Н; $F_3 = 0$ при $t_3 = 1{,}67$ с. **2.46.** 1) $0 < t < 2$ с; $F = 0$; 2) $2\text{ с} < t < 3$ с; $F_x = ma_x = 1$ Н; 3) $3\text{ с} < t < 6$ с; $F_x = ma_x = -0{,}67$ Н. См. рис. 31. **2.47.** $t_1 = \frac{B_1}{C_1} = 5$ с; $t_2 = \frac{2B_2}{3C_2} = 5$ с; $l_1 = l_2 = 100$ м; $F_2 = m(2B_2 - 6C_2t)$. См. рис. 32. **2.48.** $F = F_0t\sqrt{\frac{3b}{C}} = -24$ Н. **2.49.** $y = x + 0{,}16x^2$; $\vec{F} = 8m\vec{j}$; $F = 8 \cdot 10^{-2}$ Н. См. рис. 33. **2.50.** $l = \frac{mv^2}{2F}(\cos^2\alpha - \sin^2\alpha \cdot \mathrm{ctg}^2\beta)$; $l_0 \geqslant \frac{mv^2\cos^2\alpha}{2F}$. **2.51.** $v_к = \frac{\sqrt{7}}{4}v_0$; $F = \frac{3mv_0\sqrt{2}}{8\Delta t}$; $\alpha = 180° - \arccos\left(\frac{15\sqrt{2}}{24}\right) \approx 152{,}1°$. **2.52.** $\alpha = \arccos\left(\frac{m^2a^2 - F_1^2 - F_2^2}{2F_1F_2}\right) \approx 33{,}2°$; при $v_0 = 0$; б) $\vec{v}_0 \uparrow\uparrow \vec{F}$; в) $\vec{v}_0 \uparrow\downarrow \vec{F}$, где

Рис. 31

Рис. 32

Рис. 33

Ответы

υ_0 — начальная скорость. **2.53.** $x = \dfrac{2ms}{kt^2} = 3{,}2 \cdot 10^{-4}$ м. **2.54.** $h = \left(\dfrac{F}{m} - g\right)\dfrac{t^2}{2} = 5$ м. **2.55.** $m = \dfrac{2m_1m_2}{m_1 + m_2} \approx 190$ кг. **2.56.** $l_1 = l_0 + \dfrac{mg}{k} = 0{,}3$ м. а) $l_2 = l_0 + \dfrac{m(g + a)}{k} = 0{,}35$ м; б) $l_3 = l_0 + \dfrac{m(g - a)}{k} = 0{,}25$ м. **2.57.** $t_1 = \dfrac{t}{mg}\left(F + \sqrt{F(F - mg)}\right)$. См. рис. 34. **2.58.** $\Delta l = \dfrac{m}{k}\left(g + \dfrac{2h}{t^2}\right)$. **2.59.** а) $\vec{\upsilon} \uparrow\uparrow \vec{a}$, $F = m(g + a)$; $\vec{\upsilon} \uparrow\downarrow \vec{a}$, $F = m(g - a)$; б) $\vec{\upsilon} \uparrow\uparrow \vec{a}$, $F = m(g - a)$; $\vec{\upsilon} \uparrow\downarrow \vec{a}$, $F = m(g + a)$; в) $F = mg$. **2.60.** $P = m(g + a) \approx 2$ кН. **2.61.** $a = 3g$. **2.62.** $n = \dfrac{\upsilon^2}{2lg} \approx 20\,000$. **2.63.** $a = g\left|\dfrac{T_2 - T_1}{T_4 - T_3}\right|$. **2.64.** $F = F_c + ma = 64{,}5$ Н. **2.65.** $a = \dfrac{F}{m} - \mu g \approx 18$ м/с^2. **2.66.** а) $a = 0$; б) $a = 0$; в) $a = \dfrac{F}{m} - \mu g = 0{,}5$ м/с^2. См. рис. 35. **2.67.** $t = \dfrac{\mu mg}{c} = 4$ с. См. рис. 36.

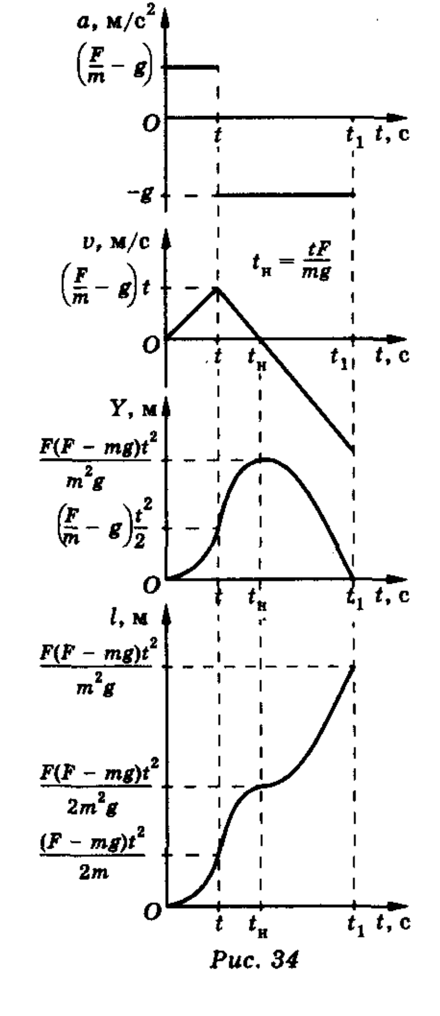


Рис. 34

2.68. $a = \dfrac{F}{m}(\cos\alpha + \mu\sin\alpha) - \mu g$; $F_1 = \dfrac{\mu mg}{\cos\alpha + \mu\sin\alpha}$. **2.69.** $a = \dfrac{F}{m}\left(\cos\beta - \dfrac{\cos\alpha(mg - F\sin\beta)}{mg - F\sin\alpha}\right) \approx 1$ м/с^2. **2.70.** $F = \dfrac{\mu mg}{\cos\alpha - \mu\sin\alpha} \approx 71$ Н. **2.71.** $T =$

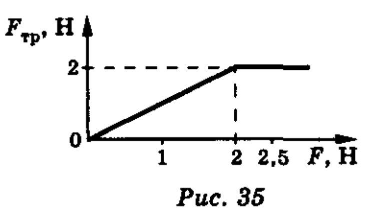


Рис. 35

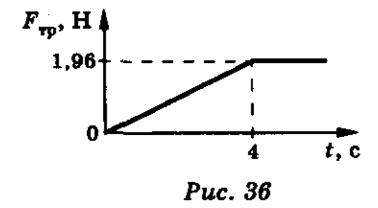


Рис. 36

$= m\dfrac{a + \mu g}{\cos\alpha + \mu\sin\alpha}$; $F = \dfrac{m(g\cos\alpha - a\sin\alpha)}{\cos\alpha + \mu\sin\alpha}$.

2.72. $t_1 = \dfrac{\mu mg}{b(\cos\alpha + \mu\sin\alpha)} \approx 0{,}11$ с; $t_2 = \dfrac{mg}{b\sin\alpha} \approx 1{,}96$ с; $a = g \cdot \operatorname{ctg}\alpha = 16{,}4$ м/с^2. При $0 < t < 0{,}11$ с $a = 0$; при $0{,}11$ с $< t < 1{,}96$ с $a = 9{,}16t - 0{,}98$; при $t > 1{,}96$ с $a = \sqrt{100t^2 - 98t + 96{,}04}$. См. рис. 37.

a, м/с^2; 16,4; 0; 0,11; 1,96; t, с

Рис. 37

2.73. $F = \dfrac{\mu mg}{\cos\alpha + \mu\sin\alpha} \approx 5$ Н, $\alpha = \operatorname{arctg}\mu = 30°$. **2.74.** $a = g - \dfrac{F_{тр}}{m} = 4{,}8$ м/с^2; $T = F_{тр} = 0{,}05$ Н; $F_{тр1} = mg = 0{,}098$ Н. **2.75.** $a = g - \dfrac{2\mu F}{m} \approx 5$ м/с^2; $F_{тр} = \mu F = 5$ Н; а) $F_{min} = mg - 2\mu F = 9{,}6$ Н; б) $F_{min} = mg + 2\mu F \approx 30$ Н. **2.76.** $T_2 = 2mg - T_1 = 77{,}6$ Н. **2.77.** $a = g - \dfrac{F_2\cos\alpha + \mu(F_1 + F_2\sin\alpha)}{m} \approx 5{,}4$ м/с^2, вниз. $\mu \geqslant \dfrac{mg - F_2\cos\alpha}{F_1 + F_2\sin\alpha} = 2{,}1$. **2.78.** $a = g + a_0 - \dfrac{T_0}{m} = 7{,}8$м/с^2. **2.79.** $a = \dfrac{g}{\mu}$.

2.80. $F = m\left(\dfrac{v_0}{t} - g\right) \approx 0{,}88$ Н. **2.81.** $F = m\sqrt{a^2 - g^2} = 6{,}9$ Н. **2.82.** $v_2 = v_1 \times \sqrt{\dfrac{m_2}{m_1}} = 3{,}5$ м/с. **2.83.** $v = u - \sqrt{\dfrac{\mu}{\alpha}(mg - F)}$. **2.84.** $\alpha = \dfrac{\mu mg}{v^2} \approx 1$ кг/м.

2.85. $s = \dfrac{gt^2}{2}\left(\sqrt{\left(\dfrac{F}{mg}\right)^2 - \cos^2\alpha} - \sin\alpha\right)$. **2.86.** $a = g\cos\alpha = 8{,}5$ м/с^2. **2.87.** $v_1 = v_2 = \sqrt{2gh}$; $t_1 = t_2\sin\alpha$. **2.88.** $a = g\dfrac{\mu}{\sqrt{1 + \mu^2}} \approx 1{,}9$ м/с^2. **2.89.** $\dfrac{t_1}{t_2} = \sqrt{\dfrac{\sin\alpha - \mu\cos\alpha}{\sin\alpha + \mu\cos\alpha}}$. **2.90.** $t = \sqrt{\dfrac{2l\cos\alpha}{g\sin(\beta - \alpha)}} = 0{,}83$ с. **2.91.** $F_1 = mg \cdot \sin\alpha$; $\operatorname{tg}\alpha_0 = \mu$; $F_2 = \mu mg\cos\alpha$. См. рис. 38. **2.92.** $a = g\left(\sin\beta - \dfrac{\mu\cos\beta}{\sin(\alpha/2)}\right)$. **2.93.** $F = mg \cdot \cos\alpha(\sin\alpha - \mu \cdot \cos\alpha)$ при $\mu \leqslant \operatorname{tg}\alpha$; $F = 0$ при $\mu \geqslant \operatorname{tg}\alpha$. **2.94.** $\mu \geqslant \operatorname{tg}\alpha = 0{,}58$. **2.95.** $\mu = \dfrac{a + g\sin\alpha}{g\cos\alpha} \approx 0{,}6$.

2.96. $F = mg\dfrac{\sin\alpha - \mu\cos\alpha}{\mu\sin\alpha + \cos\alpha} = 13$ Н. **2.97.** $F = mg \times$

$F_{тр}$, Н; mg; μmg; 0; α_0; 90; α, град

Рис. 38

$\times \dfrac{(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)}{\cos\alpha - \mu\sin\alpha} = 7$ Н. **2.98.** $F = \dfrac{mg}{l}\left(\dfrac{h}{\mu} - \sqrt{l^2 - h^2}\right) = 0{,}75$ Н. **2.99.** $\alpha =$ $= \text{arcctg}\,\mu = 45°$; $a = g(2 - \sqrt{1 + \mu^2}) \approx 0{,}6g$. **2.100.** $\beta = \text{arctg}\,\mu$; $T = mg(\sin\alpha +$ $+ \mu\cos\alpha)/\sqrt{1 + \mu^2}$. **2.101.** $a_{отн} = g\sin\alpha - a\cos\alpha$; $a_1 = g\,\text{tg}\,\alpha$. **2.102.** $T =$ $= m(g\sin\alpha + a\cos\alpha)$; $F = m(g\cos\alpha - a\sin\alpha)$; $a_1 = g\,\text{ctg}\,\alpha$. **2.103.** $a =$ $= g\dfrac{\mu + \text{tg}\,\alpha}{1 - \mu\,\text{tg}\,\alpha}$. **2.104.** $\alpha = \text{arctg}\left(\dfrac{a}{g}\right)$; $T = m\sqrt{g^2 + a^2}$. **2.105.** $\alpha = \beta$. **2.106.** $F = \dfrac{m(g + a)}{2}$. **2.107.** $F = 100$ Н. **2.108.** а) $T_1 = F\dfrac{m_2}{m_1 + m_2}$; б) $T_2 =$ $= F\dfrac{m_1}{m_1 + m_2}$. **2.109.** $x = \dfrac{m_2F}{(m_1 + m_2)k}$. **2.110.** $a = \dfrac{F_1 - F_2}{m_1 + m_2} = 1$ м/с^2; $T = \dfrac{m_1F_2 + m_2F_1}{m_1 + m_2} = 0{,}4$ Н. **2.111.** $t_1 = \dfrac{T_0(m_1 + m_2)}{\alpha(2m_1 + m_2)}$. **2.112.** $T = F_2 +$ $+ \dfrac{x}{l}(F_1 - F_2)$. **2.113.** $a = \dfrac{F_1(\cos\alpha + \mu\sin\alpha) - F_2(\cos\beta - \mu\sin\beta)}{m_1 + m_2} - \mu g$; $T =$ $= \dfrac{F_1m_2(\cos\alpha + \mu\sin\alpha) + F_2m_1(\cos\beta - \mu\sin\beta)}{m_1 + m_2}$. **2.114.** $F = 1{,}2\,F_0 = 120$ Н. **2.115.** $T_1 = \dfrac{F(2m + m_в)}{2(M + m + m_в)} \approx 105{,}9$ Н; $T_M = \dfrac{F(m + m_в)}{M + m + m_в} = 123{,}5$ Н; $T_m = \dfrac{Fm}{M + m + m_в} = 88{,}2$ Н. **2.116.** $a = \dfrac{2F}{M - m} - g = 3{,}5$ м/с^2; $N = 2F\dfrac{M + m}{M - m} = 1{,}1 \cdot 10^3$ Н. **2.117.** $a = g\dfrac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$; $T = \dfrac{2m_1m_2g}{m_1 + m_2}$; $F = 2T = \dfrac{4m_1m_2g}{m_1 + m_2}$. **2.118.** $a = \dfrac{mg}{M + 2m}$; $T = \dfrac{(M + 3m)(M + m)g}{M + 2m}$; $F_1 =$ $= \dfrac{(M + 3m)mg}{M + 2m}$; $F_2 = \dfrac{3mg(M + m)}{M + 2m}$. **2.119.** $a = \dfrac{g}{3} \approx 3{,}3$ м/с^2; $T_1 = \dfrac{2}{3}mg \approx$ ≈ 33 Н; $s = \dfrac{gt^2}{6} \approx 26$ м. **2.120.** $a = \dfrac{g}{5} \approx 2$ м/с^2; $T_1 = \dfrac{4}{5}mg$; $T_2 = \dfrac{8}{5}mg$; $T_3 = \dfrac{12}{5}mg$; $T_4 = \dfrac{6}{5}mg$. **2.121.** $a = \dfrac{g(m_1 - m_2) - 2\mu F}{m_1 + m_2} = 2$ м/с^2. **2.122.** $a =$ $= \dfrac{g|m_1 - m_2| - F}{m_1 + m_2}$ при $|m_1 - m_2|g \geqslant F$; $a = 0$ при $|m_1 - m_2|g \leqslant F$.

2.123. $a = g\dfrac{m_2 - m_1}{m_2} = 5{,}88$ м/с^2. **2.124.** $m_1 \geqslant \mu m_2$; $a = g\dfrac{(m_1 - \mu m_2)}{m_1 + m_2}$; $T = \dfrac{gm_1m_2(1 + \mu)}{m_1 + m_2}$. **2.125.** $T_1 = \dfrac{4mg}{3}(1 + \mu) \approx 84{,}9$ Н; $T_2 = \dfrac{2mg}{3}(1 + \mu) \approx 42{,}5$ Н. **2.126.** $a = \dfrac{g}{5}(1 - 4\mu)$; $T_1 = \dfrac{4mg}{5}(1 + \mu)$; $T_2 = \dfrac{2mg}{5}(1 + \mu)$; $T_3 = \dfrac{3mg}{5}(1 + \mu)$; $T_4 = \dfrac{mg}{5}(1 + \mu)$; $\mu \geqslant 0{,}25$. **2.127.** $T_k = \dfrac{kmg}{n + 1}$; $F = \dfrac{nmg\sqrt{2}}{n + 1}$.

2.128. $a_1 = \dfrac{mg - Ma}{M + m}$ — относительно земли; $a_2 = \dfrac{m(g + a)}{M + m}$ — относительно стола. **2.129.** $\mu = \dfrac{x}{l - x}$. **2.130.** $x = 0{,}6l$; $a = g\dfrac{3l + x}{6l} = 0{,}6g$; $T = 0{,}4mg$.

2.131. 1) $m_1 > m(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)$; $T = \dfrac{gm_1m(1 + \mu\cos\alpha + \sin\alpha)}{m_1 + m}$. 2) $m_1 < m(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$; $T = \dfrac{gm_1m(1 - \mu\cos\alpha + \sin\alpha)}{m_1 + m}$. $F = 2T\cos\left(\dfrac{\pi}{4} - \dfrac{\alpha}{2}\right)$. $\mu \geqslant \left(\pm\,\mathrm{tg}\,\alpha \mp \dfrac{m_1}{m\cos\alpha}\right)$. **2.132.** 1) $a = \dfrac{g(\sin\beta - \sin\alpha)}{2} \approx 1$ м/с^2; $T = \dfrac{mg}{2}(\sin\alpha + \sin\beta) \approx 6$ Н; $\dfrac{m_2}{m_1} = \dfrac{\sin\beta}{\sin\alpha} = 1{,}41$. 2) $a = \dfrac{g}{2}(\sin\beta - \mu\cos\beta - \sin\alpha - \mu\cos\alpha) = 0{,}24$ м/с^2; $T = \dfrac{mg}{2}(\sin\beta + \sin\alpha + \mu(\cos\alpha - \cos\beta)) = 6{,}0$ Н; $\dfrac{\sin\beta - \mu\cos\beta}{\sin\alpha + \mu\cos\alpha} \leqslant \dfrac{m_2}{m_1} \leqslant \dfrac{\sin\beta + \mu\cos\beta}{\sin\alpha - \mu\cos\alpha}$, $1{,}08 \leqslant \dfrac{m_2}{m_1} \leqslant 1{,}88$. **2.133.** $T = \dfrac{m}{l}(l - x)(a + g\sin\alpha + \mu g\cos\alpha)$. **2.134.** $a = g\left(\sin\alpha - \dfrac{\mu_1m_1 + \mu_2m_2}{m_1 + m_2}\cos\alpha\right) = 3{,}77$ м/с^2. Если заменить стержень нитью, то вначале $a_{m1} = g(\sin\alpha - \mu_1\cos\alpha) = 3{,}2$ м/с^2, $a_{m2} = g(\sin\alpha - \mu_2\cos\alpha) = 4{,}05$ м/с^2 ($a_2 > a_1$), нить сожмется, у тел будет одинаковое ускорение $a_3 = a$. **2.135.** $a = g\left(\sin\alpha - \cos\alpha \times \dfrac{\mu_1m_1 + \mu_2m_2}{m_1 + m_2}\right) = 5{,}4$ м/с^2; $F = \dfrac{m_1m_2g(\mu_2 - \mu_1)\cos\alpha}{m_1 + m_2} \approx 1{,}7$ Н; если $\mu_1 < \mu_2$,

то $a_1 < a_2$ и бруски будут двигаться не соприкасаясь. **2.136.** $F = g\left[\frac{m+M}{2} + \right.$ $\left. + \mu_2(m+M) + 2\mu_1 m\right] = 30$ Н. **2.137.** $a = g\,\frac{(M-m)\sin\alpha - \mu(M+5m)\cos\alpha}{M+m}$; $\frac{\sin\alpha - \mu\cos\alpha}{\sin\alpha + 5\mu\cos\alpha} \leqslant \frac{m}{M} \leqslant \frac{\sin\alpha + \mu\cos\alpha}{\sin\alpha - 5\mu\cos\alpha}$. **2.138.** а) $F < \mu mg$; $a_1 = a_2 = \frac{F}{M+m} \approx 9$ см/с^2; $F_{\text{тр.п}} = \frac{MF}{M+m} \approx 1{,}8$ Н; б) $F > \mu mg$; $a_1 = \frac{F - \mu mg}{m} \approx 7{,}5$ м/с^2; $a_2 = \frac{\mu mg}{M} = 0{,}25$ м/с^2; $F_{\text{тр}} = \mu mg = 4{,}9$ Н. **2.139.** а) Если $F \leqslant \mu g \times (m+M)$, то $a = 0$, система покоится. б) Если $\mu g(m+M) \leqslant F \leqslant 2\mu g(m+M)$, то $a_1 = a_2$, $a_1 = \frac{F}{M+m} - \mu g$, a_1 — ускорение бруска, $a_2 = \frac{F}{M+m} - \mu g$, a_2 — ускорение тела. в) Если $F > 2\mu g(m+M)$, то $a_1 = \frac{F - \mu g(2m+M)}{m}$, $a_2 = \mu g (a_1 > a_2)$. **2.140.** $F_{\text{тр}} = m\left(\frac{F}{m+M} - \mu g\right) = 9{,}8$ Н. **2.141.** $t = \sqrt{\frac{2lmM}{FM - \mu gm(M+m)}}$; $F_0 = \mu mg\left(1 + \frac{m}{M}\right)$. **2.142.** $a_M = a_m = \frac{F}{2(M+m)}$ при $F \leqslant \frac{2\mu mg(M+m)}{M+2m}$; $a_1 = \frac{F - \mu mg}{M}$, $a_2 = \frac{\mu mg}{M+2m}$ при $F \geqslant \frac{2\mu mg(M+m)}{M+2m}$, где a_1 — ускорение правого нижнего груза системы, a_2 — ускорение остальных грузов (они будут двигаться как единое целое). **2.143.** $x = \frac{\mu g(M+m) - F}{k} \times \frac{m}{M} \approx 2$ мм. **2.144.** 1) $a = 0$, $\mu_1 \geqslant \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\operatorname{tg}\alpha$ и $\mu_2 \geqslant \operatorname{tg}\alpha$ (доска и брусок покоятся). 2) Доска покоится, брусок движется ускоренно вниз $a = g(\sin\alpha - \mu_2\cos\alpha)$, если $\mu_1 > \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\operatorname{tg}\alpha$ и $\mu_2 < \operatorname{tg}\alpha$. 3) Тела движутся как одно целое $a = g(\sin\alpha - \mu_1\cos\alpha)$, если $\mu_1 < \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\operatorname{tg}\alpha$ и $\mu_2 > \operatorname{tg}\alpha$. 4) У тел различное ускорение $a_1 = g\left(\sin\alpha - \mu_1\cos\alpha - \frac{m_2}{m_1}(\mu_1 + \mu_2)\cos\alpha\right)$ и $a_2 = g\left(\mu_2\cos\alpha - \mu_1\cos\alpha - \frac{m_2}{m_1}(\mu_1 + \mu_2)\cos\alpha\right)$ — относительно Земли, если $\mu_1 < \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\operatorname{tg}\alpha$

и $\mu_2 < \operatorname{tg}\alpha$. **2.145.** $g(m + M)(\mu_1\cos\alpha + \sin\alpha) \leqslant F \leqslant 2\mu_1 mg\dfrac{(M + m)}{M}\cos\alpha$; $57{,}5\text{ Н} \leqslant F \leqslant 67{,}7\text{ Н}$. **2.146.** $F_{тр} = \dfrac{mg}{2}\sin 2\alpha = 0{,}85\text{ Н}$. **2.147.** $T = \dfrac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \times (2g + a_1' + a_2')$; $a_1 = \dfrac{m_2}{m_1 + m_2}(2g + a_1' + a_2') - g$; $a_2 = \dfrac{m_1}{m_1 + m_2}(2g + a_1' + a_2') - g$. **2.148.** $a = g\dfrac{|2M - 3m|}{5m + 4M}$. **2.149.** $a = g - a_{отн} = 0$. **2.150.** $T_c = \dfrac{4gm_1m_2m_3m_4}{m_1m_2m_3 + m_1m_3m_4 + m_1m_2m_4 + m_2m_3m_4}$; $F_д = 2T_0$; $F_{д0} = 2F_д$.
2.151. Оба груза падают свободно, т. е. $a = g$. Блоки A и B вращаются против часовой стрелки, блок C — по часовой. **2.152.** $a = \dfrac{g}{33} = 0{,}3\text{ м/с}^2$. **2.153.** а) $F = \dfrac{2}{3}g(M + 5m)$; б) $F = F_1 = \dfrac{2}{3}(g(M + 5m) + (2m + 11m)a)$; $F_2 = \dfrac{g}{7}(2M + 16m)$; в) $\dfrac{g(2 - 3\mu)(M + 5m)}{3 + 2\mu} \leqslant F \leqslant \dfrac{g(2 + 3\mu)(M + 5m)}{3 - 2\mu}$. **2.154.** Если $F = 12$ Н, то $a_2 = 0$, $a_1 = 1\text{ м/с}^2$, $\Delta s = \dfrac{a_1t^2}{2} = 0{,}08$ м; если $F = 9$ Н, то тела неподвижны.
2.155. $\left|1 - \dfrac{m_1}{m_2}\right| \leqslant 4\mu$. **2.156.** $a = g\operatorname{tg}\alpha$; $m = M\dfrac{\sin\alpha}{(1 - \sin\alpha)^2}$. **2.157.** $m_{1\min} = \dfrac{\mu m(m + M)}{M - \mu m} = 0{,}25$ кг; $t = \sqrt{\dfrac{2lM(m_1 + m)}{g[Mm_1 - \mu m(M + m + m_1)]}} = 1{,}6$ с. **2.158.** $a_1 = \dfrac{22}{58}g$; $a_2 = \dfrac{9}{58}g$; $a_3 = \dfrac{35}{58}g$; $T = \dfrac{9}{29}mg$. **2.159.** $a_1 = a_2 = \dfrac{m_1 + m_3\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha}{m_1 + m_2 + m_3\cdot\sin^2\alpha}g$;

$$a_{3верт} = \frac{m_1\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha + (m_1 + m_2 + m_3)\cdot\sin^2\alpha}{m_1 + m_2 + m_3\sin^2\alpha}\cdot g;$$

$$a_{3гориз} = \frac{(m_1 + m_2)\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha - m_1\cdot\sin^2\alpha}{m_1 + m_2 + m_3\sin^2\alpha}\cdot g;\quad a_3 = \sqrt{a_{3гориз}^2 + a_{3верт}^2}.$$

2.160. $a_1 = \dfrac{m_2g\cdot\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{m_2 + 2m_1\cdot\operatorname{tg}^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$; $a_2 = \dfrac{m_2g}{m_2 + 2m_1\cdot\operatorname{tg}^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$. **2.161.** $F = \dfrac{2m_1m_2g}{m_1 + m_2}\times$

Ответы

$\times$ tg α. **2.162.** $a = \dfrac{g\,\text{tg}\,\alpha}{1 + \text{tg}^2\alpha} = 4{,}24$ м/с^2.
2.163. а) $0 \leqslant F \leqslant 9\mu mg$, состояние покоя $a_1 = a_2 = a_3 = 0$; б) $9\mu mg < F \leqslant 45\mu mg$, тела движутся как единое целое $a_1 = a_2 = a_3$; в) $45\mu mg < F \leqslant 57\mu mg$, у верхнего постоянное ускорение $a_1 = 4\mu g$, а второе и третье движутся как единое целое $a_2 = a_3$; г) $F > 57\mu mg$, у верхнего $a_1 = 4\mu g$, у нижнего $a_2 = 7\mu g$, у среднего $a_2 = \dfrac{F}{3m} - \dfrac{38}{3}\mu g$, где $F_п$ — сила трения покоя, $F_{ск}$ — сила трения скольжения. См. рис. 39. **2.164.** $P_A = mg = 10^4$ Н; $P_B = m\left(g + \dfrac{v^2}{R}\right) = 1{,}2 \cdot 10^4$ Н; $P_C = m\left(g \cdot \cos\alpha + \dfrac{v^2}{R}\right) = 1{,}1 \cdot 10^4$ Н; $P_D = m\left(g - \dfrac{v^2}{R}\right) = 8{,}4 \cdot 10^3$ Н; $v_0 = \sqrt{gR} = 44{,}8$ м/с. **2.165.** $v = \sqrt{\mu g R} \approx 9$ м/с. **2.166.** $R \leqslant \dfrac{\mu g}{\omega^2} = 0{,}49$ м. **2.167.** $t = \dfrac{1}{\varepsilon}\sqrt{\dfrac{\mu g}{r}} = 1$ кН. **2.168.** $P_в = m\left(\dfrac{v^2}{R} - g\right) \approx 1050$ Н; $P_н = m\left(g + \dfrac{v^2}{R}\right) \approx 2450$ Н. **2.169.** $T_н = \dfrac{m}{2}\left(\omega^2 l + \dfrac{g}{\cos\alpha}\right)$; $T_в = \dfrac{m}{2}\left(\omega^2 l - \dfrac{g}{\cos\alpha}\right)$. **2.170.** $R = \dfrac{v^2}{ng} = 6{,}3$ км. **2.171.** $\mu \geqslant 0{,}4$. **2.172.** $v = \sqrt{gR\dfrac{\text{tg}\,\alpha + \mu}{1 - \mu\,\text{tg}\,\alpha}} = 21$ м/с. **2.173.** $v = \sqrt{\dfrac{Dg}{2\mu}} = 11$ м/с. **2.174.** $\mu \geqslant \dfrac{g + \omega^2 R\,\text{tg}\,\alpha}{(\omega^2 R - g\,\text{tg}\,\alpha)\sin 2\alpha}$. **2.175.** $P = m\sqrt{g^2 + \left(\dfrac{v^2}{R}\right)^2} \approx 51$ Н. **2.176.** $x = 10$ см. **2.177.** $\dfrac{m_1}{m_2} = \dfrac{1}{5}$. **2.178.** $\omega = \dfrac{2v\sin\alpha}{l}$. **2.179.** $T = \dfrac{2mv^2}{l}\sin^2\alpha$. **2.180.** $g = 9{,}85$ м/с^2. **2.181.** $T = m\omega^2 l$; $F_д = m(g - \omega^2 l\sin\alpha)$. **2.182.** $n = \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{g \cdot \text{tg}\,\alpha}{R + l \cdot \text{tg}\,\alpha}} = 8{,}31$ об/мин. **2.183.** $\dfrac{T_м}{T_к} = \cos^2\alpha$, натяжение больше в случае конического маятника. **2.184.** $R = \dfrac{klT^2}{kT^2 - 4\pi^2 m}$.

Рис. 39

2.185. $l = l_0 \frac{k}{k - 4\pi^2 n^2} = 0{,}24$ м. **2.186.** $k = 4\pi^2 m(2n_2^2 - n_1^2) \approx 82$ Н/м.

2.187. $\sigma = \frac{4\pi^2 n^2 lm}{s} = 2{,}63 \cdot 10^5$ Н/м. **2.188.** $\Delta l = \frac{4\pi^2 l_0 n^2 m}{k - 4\pi^2 n^2 m}$. **2.189.** $\omega = \sqrt{\frac{g(\mu\cos\alpha - \sin\alpha)}{r(\mu\sin\alpha + \cos\alpha)}} = 5{,}3$ рад/с. **2.190.** $\alpha = \arccos\left(\frac{g}{\omega^2 R}\right)$ при $\frac{g}{\omega^2 R} < 1$ и $\alpha = 0$ при $\frac{g}{\omega^2 R} > 1$. **2.191.** $\mu = \frac{g - \omega^2(R - h)}{g + \omega^2(R + h)} \cdot \sqrt{\frac{R + h}{R - h}} = 0{,}3$. **2.192.** $T = m(g\cos\alpha - \omega^2 h \cdot \sin\alpha \cdot \operatorname{tg}\alpha)$; $F_д = m\left(\frac{g}{\sin\alpha} - \cos\alpha(g \cdot \operatorname{ctg}\alpha - h\omega^2 \cdot \operatorname{tg}\alpha)\right)$.

2.193. $R = \frac{(a + g)\operatorname{ctg}\alpha}{\omega^2}$. **2.194.** $\alpha = \arccos\left(\frac{a + g}{\omega^2 l}\right)$; $T = m\omega^2 l = 40$ Н; $\alpha \approx 74°$.

2.195. $T = 2mg$. **2.196.** $\omega = \sqrt{\frac{2\pi T_0}{mR}}$. **2.197.** $R = R_0 \frac{4\pi^2 k}{4\pi^2 k - m\omega^2}$. **2.198.** $T_1 = \omega^2 \times (m_1R_1 + m_2R_2) = 16$ Н; $T_2 = \omega^2 m_2R_2 = 8$ Н. **2.199.** $t = \frac{mv_0}{F\cos\alpha}$; $N = \frac{mv_0^2}{4\pi RF\cos\alpha}$.

2.200. $\mu = \frac{mg}{2\pi T - m\omega^2 R} = 0{,}63$. **2.201.** $\mu = \frac{\omega^2 l \cdot \cos\alpha - (g + a) \cdot \operatorname{tg}\alpha}{g + a + \omega^2 l\sin\alpha} \approx 0{,}86$.

2.202. $T = m\sqrt{\omega^4 l^2 \sin^2\alpha - g^2} \approx 50$ Н; $\varphi = \arccos\left(\frac{g}{\sqrt{\omega^4 l^2 \sin^2\alpha - g^2}}\right) \approx 78°$, где φ — угол между силой и вертикалью.

3. Работа. Законы сохранения импульса и энергии

3.1. $p = mv = 6$ кг · м/с; $\eta = \frac{k}{n} = 0{,}75$. **3.2.** $p_y(x_0) = \frac{2mvx_0}{\sqrt{1 + 4x_0^2}}$. **3.3.** $\Delta p = m(v_2 - v_1) = 9$ кг · м/с. **3.4.** $\Delta p = mv\sqrt{2} = 2{,}8$ кг · м/с; $\Delta p = 2mv = 4$ кг · м/с. **3.5.** $\Delta p = m\sqrt{2ah} = 0{,}8$ кг · м/с. **3.6.** $t = \frac{\Delta p}{mg}$. **3.7.** $F = \frac{mv}{\Delta t} = 750$ кН. **3.8.** $m = \frac{Ft}{\Delta v} =$

Ответы

$= 100$ кг. **3.9.** $\Delta t = \dfrac{mv}{F} = 2$с. **3.10.** $F = \dfrac{mv}{\Delta t} = 500$ кН; $p = \dfrac{mv}{S\Delta t} = 5$ МПа.

3.11. $v_1 = \dfrac{Ft}{m_1} = 1$ м/с; $v_{\text{отн}} = \dfrac{Ft(m_1 + m_2)}{m_1 m_2} = 1{,}5$ м/с. **3.12.** а) $p = 2mv$; б) $F = \dfrac{2mv}{t}$; в) $p_1 = mv$. **3.13.** а) $\Delta p = 2mv \cdot \sin\alpha = 0{,}17$ Н · с; б) $\Delta p = 2mv = 0{,}2$ Н · с. **3.14.** $F = m\left(g + \dfrac{v + \sqrt{2gh}}{\Delta t}\right) \approx 158$ Н. **3.15.** $v_1 = v + 2u$. **3.16.** $v_1 = \sqrt{v^2 + 4vu \cdot \cos\alpha + 4u^2} \approx 521$ м/с; $\beta = \operatorname{arctg}\dfrac{v \cdot \sin\alpha}{v \cdot \cos\alpha + 2u} \approx 49°$.

3.17. $p = \sqrt{(m_1v_1)^2 + (m_2v_2)^2} = 1{,}7 \cdot 10^{-2}$ кг · м/с; $\operatorname{tg}\beta = \dfrac{m_1v_1}{m_2v_2} = 1$; $\beta = 45°$.

3.18. а) $p = 0$; б) $p = 2mv = 16$ кг · м/с; в) $p = mv = 8$ кг · м/с. **3.19.** $v = \dfrac{v_0}{3} = 1$ м/с.

3.20. $v = \dfrac{mv_1 - mv_2}{M + m} = -0{,}5$ м/с, влево. **3.21.** а) $v = v_1 - \dfrac{v_2}{200} = -1{,}5$ м/с; б) $v = v_1 - \dfrac{v_2}{200}\cos\alpha = 0{,}5$ м/с. **3.22.** $\vec{p} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = 10^{-3}(7\vec{i} + 6\vec{j})$ кг · м/с; $|\vec{p}| = \sqrt{(m_1v_{1x} + m_2v_{2x})^2 + (m_2v_{2y})^2} \approx 9{,}2 \cdot 10^{-3}$ кг · м/с. **3.23.** $p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + 2p_1p_2 \cdot \cos\theta}$. **3.24.** $v_2 = \dfrac{\sqrt{(Mu)^2 + (mv_1)^2}}{M - m}$. **3.25.** $v_1 = \dfrac{m_1v_0 + m_2v_0 - m_2v_2}{m_1} = -12{,}5$ м/с. **3.26.** $\Delta v = mv/M = 10^{-3}$ м/с. **3.27.** $u = \dfrac{mv}{M + m}$, аэростат опускается. **3.28.** $u = \dfrac{2ms}{Mt} = 0{,}17$ м/с. **3.29.** $\eta = \dfrac{35}{36}$. **3.30.** $v_1 = \dfrac{mv_0(2M - m)}{(M - m)M} = 1$ м/с. **3.31.** $v = \dfrac{mu\cos\beta}{M - m} - \dfrac{mu\cos\alpha}{M} \approx \dfrac{mu(\cos\beta - \cos\alpha)}{M} \approx 1{,}4$ м/с. **3.32.** $u_1 = \dfrac{\sqrt{n^2v_1^2 + v_2^2 + 2v_1v_2n\cos(\alpha_2 - \alpha_1)}}{n + 1} \approx 9{,}6$ м/с.

3.33. $v_1 = \dfrac{vM}{M + 2m}$; $v_2 = \dfrac{v(M - m)}{M + m}$; $v_1 > v$. **3.35.** $s = \dfrac{ml}{M + m} = 1$ м; нет.

3. Работа. Законы сохранения импульса и энергии

3.36. $s = 4l$. **3.37.** $s = \dfrac{Ml}{m + M}$. **3.38.** $s = \dfrac{(m_1 - m_2)l}{m_1 + m_2 + M} = 0{,}51$ м; нет. **3.39.** $s = \dfrac{m(l - l_1)}{M + m}$. **3.40.** $\upsilon = \sqrt{\dfrac{Mlg}{(M + m)\cdot \sin 2\alpha}}$.

Рис. 40

3.41. $\upsilon = \sqrt{\dfrac{Mlg}{M + m}}$. **3.42.** $\upsilon = \dfrac{Ml}{m + M}\sqrt{\dfrac{g}{2h}} = 11$ м/с. **3.43.** $p = \rho\upsilon^2 = 10^5$ Па.

3.44. $F = 2\rho S\upsilon^2 \cdot \cos\alpha = 86{,}4$ Н. **3.45.** $F = \rho S u^2$. **3.46.** $F_{\text{тр}} = mnS\upsilon = 300$ Н.

3.47. $F = \dfrac{m}{l}(\upsilon^2 + gl)$. **3.48.** $\upsilon = \dfrac{u}{4}$. **3.49.** $F = nmg$. **3.50.** См. рис. 40. **3.51.** Вторая.

3.52. Жук описывает окружность $R_{\text{ж}} = \dfrac{RM}{m + M}$, центр обруча описывает окружность $R_{\text{о}} = \dfrac{Rm}{m + M}$. **3.53.** $\upsilon = \dfrac{u}{4} = 0{,}25$ км/с. **3.54.** $F = \rho V_0 \upsilon = 12{,}5$ кН.

3.55. $\mu = \dfrac{Mg}{\upsilon}$. **3.56.** $\mu = \dfrac{M(a + g)}{\upsilon}$. **3.57.** $\upsilon = \sqrt{\dfrac{4Mg}{\rho\pi d^2}} \approx 54$ м/с. **3.58.** $F = (u - \upsilon)\mu_2 + u\mu_1$. **3.59.** $F = \sqrt{(Mg)^2 + \left(\dfrac{m\upsilon}{t}\right)^2} = 20$ Н. **3.60.** $\upsilon_1 = u + \upsilon\dfrac{M}{m + M} \approx 8005$ м/с; $\upsilon_2 = u - \upsilon\dfrac{m}{m + M} \approx 8000$ м/с. **3.61.** $m = \dfrac{m_0}{3}$. **3.62*.** $\upsilon_1 \approx \dfrac{3m\upsilon}{(M - 3m)} \approx 2$ м/с; $\upsilon_2 \approx \dfrac{Nm\upsilon}{M - Nm} \approx 49$ км/ч. **3.63*.** $\upsilon_n = m\upsilon \times \sum\limits_{k=1}^{N} \dfrac{1}{M - km}$. **3.64*.** $u = \upsilon\sqrt{3}/2$; $N = 1000$. **3.65.** $A = F s\cos\alpha \approx 1{,}1$ кДж.

3.66. $A = mgh \approx 2{,}5$ МДж. **3.67.** $A = m(g + a)\dfrac{a\Delta t^2}{2} = 1{,}6 \cdot 10^4$ Дж. **3.68.** $A = mah = 14$ Дж. **3.69.** Более 45,4 тыс. двигателей. **3.70.** $N = \dfrac{mgh}{\Delta t} \approx 15$ Вт.
3.71. $N = F\upsilon = 10{,}5$ кВт. **3.72.** $N = 143$ МВт; $A = 3{,}86 \cdot 10^{11}$ Дж. **3.73.** $F = \dfrac{N}{4\upsilon} = 30$ кН. **3.74.** $\dfrac{N_2}{N_1} = \dfrac{\upsilon_2^3}{\upsilon_1^3} = 8$. **3.75.** $A_1 = \dfrac{mg^2\Delta t^2}{2} = 48$ Дж; $N_1 = 48$ Вт; $A_2 = 9\dfrac{mg^2\Delta t^2}{2} = 432$ Дж; $N_2 = 432$ Вт. **3.76.** $A_1 = 180$ Дж; $A_2 = 320$ Дж; $A = 500$ Дж. **3.77.** $A = (mg + F)h$. **3.78.** $A = mg(h + \upsilon t \cdot \sin\alpha)$. **3.79.** $A = mg(h + \mu l)$.

Ответы

3.80. $A = m\left(kg + \frac{2s}{t^2}\right)s$ = 195 кДж; $A_1 = 0$. **3.81.** $A = \frac{mgFH}{F - ma}$ = 147 Дж. **3.82.** $N = \frac{Mgu}{2}$. **3.83.** $N = \frac{mv}{2}(\mu g + a)$ = 22,2 кВт. **3.84.** $N = mv\left(\mu g + \frac{v^2}{2s}\right)$ = 98,5 кВт. **3.85.** $a = \frac{N}{mv} - \mu g$; $a_1 = 0{,}175$ м/с^2; $a_2 = 0{,}026$ м/с^2; $v_{max} = \frac{N}{\mu mg}$ = 18 м/с. **3.86.** $v = v_1 v_2 \frac{(N_1 + N_2)}{N_1 v_2 + N_2 v_1}$. **3.87.** $N = \frac{mgv}{k\eta}$ = 20 кВт. **3.88*.** $v(t) = \mu g t$ при $t \leqslant t_0 = \frac{N}{m(\mu g)^2}$; $v(t) = \sqrt{\frac{2N}{m}\left(t - \frac{N}{2m(\mu g)^2}\right)}$ при $t > t_0$. **3.89.** $t = \frac{mgl\sin\alpha}{\eta N} \approx 30$ с. **3.90*.** $A = 12$ Дж. **3.91*.** $A = -17$ Дж. **3.92*.** $N = 4mt$. **3.93.** $A = \frac{\pi\rho b(2r + b)H^2 g}{2}$. **3.94.** $A = mgh + \frac{\mu g h^2}{2}$ = 1 кДж. **3.95.** а) A = 7,5 Дж; б) A = 1,5 Дж. **3.96.** $A_1 = \frac{mgl}{2}$ = 20 Дж; $A_2 = \mu\frac{mgh}{2}$ = 10 Дж. **3.97.** $A = \frac{k\Delta x^2}{2}$ = 0,5 Дж. **3.98.** F = 100 Н; $k = \frac{F}{\Delta l}$ = 5 кН/м; $A = \frac{F\Delta l}{2}$ = 1 Дж. **3.99.** $A = \frac{ES}{2l}(\Delta l)^2$ = 11 Дж. **3.100.** $A = \frac{P}{2(\Delta x_1)}(\Delta x_2)^2$ = 1225 Дж. **3.101.** $A = \frac{m_2^2 g(l_2 - l_1)}{2(m_2 - m_1)}$ = 1,25 Дж. **3.102.** $A = \frac{k_2 x^2}{2}\left(1 + \frac{k_2}{k_1}\right)$ = 0,6 Дж. **3.103.** $A = \frac{(\mu mg)^2}{2k}$ = 0,5 Дж. **3.104.** $A = \frac{\mu mg}{\cos\alpha + \mu\cdot\sin\alpha}\left[s\cdot\cos\alpha + \frac{\mu mg}{2k(\cos\alpha + \mu\cdot\sin\alpha)}\right]$ = 5,4 Дж. **3.105.** $k = \frac{A}{l^2}$ = 50 Н/м. **3.106.** $F = \mu g\left(m_1 + \frac{m_2}{2}\right)$. **3.107.** $A = -\frac{\mu mgl}{2}$ = −5 Дж. **3.108.** $A = \frac{1}{2}mgl(\mu_1 + \mu_2)$. **3.109.** $A_1 = \frac{3}{4}A$ = 1,5 Дж. **3.110.** $A = \frac{1}{2}\mu Mgl\pi$. **3.111.** $A = \frac{kl^2}{2}$ = 12,5 Дж. **3.112.** $A = \frac{Fl}{2}$ = 25 Дж. **3.113.** $n = k^2$. **3.114.** $A = 2\pi\mu m v^2$. **3.115.** $N = \frac{\omega^2 R(1 + \mu^2)}{4\pi\mu g(1 + \mu)}$ = 18,6. **3.116.** $E_к = 2\cdot 10^5$ МДж. **3.117.** $E_к = 4\cdot 10^{10}$ Дж. **3.118.** Увеличится в 9 раз. **3.119.** Уменьшится в 2 раза. **3.120.** $\Delta E_к = \frac{m}{2}(v_1^2 - v_2^2)$ = 180 Дж. **3.121.** $v = \sqrt{\frac{2E_к}{m}}$ = 4 м/с. **3.122.** $\frac{p_с}{p_л} = 3$;

$\dfrac{E_с}{E_л} = \dfrac{1}{2}$. **3.123.** $E_к = \dfrac{p^2}{2m} = 1$ Дж. **3.124.** $p = \sqrt{2mE_к} = 10$ кг · м/с. **3.125.** $m = \dfrac{p^2}{2E_к} = 0{,}2$ кг. **3.126.** $\upsilon = 4$ м/с; $m = 2$ кг. **3.127.** $\Delta p = \dfrac{2\Delta E_к}{(\upsilon_2 - \upsilon_1)} = 2$ кг · м/с. **3.128.** $t = \dfrac{1}{g}\sqrt{\dfrac{2E_к}{m}} = 2$ с. **3.129.** $a = \dfrac{2E_к}{mR} = 10$ м/с^2. **3.130.** $E_к = \dfrac{mgl \cdot \sin\alpha \cdot \operatorname{tg}\alpha}{2} = 0{,}3$ Дж. **3.131.** $E_{к1} = m(1 - \cos\alpha)\upsilon^2$; $E_{к2} = m(1 + \cos\alpha)\upsilon^2$; $E_{кб} = 2m\upsilon^2$; $E_{ко} = M\upsilon^2$. **3.132.** $A_1 = \dfrac{m\upsilon^2}{8}$; $A_2 = \dfrac{3m\upsilon^2}{8}$; $\dfrac{A_2}{A_1} = 3$. **3.133.** $l = \dfrac{\upsilon^2}{2\mu g} = 4{,}08$ м. **3.134.** $\upsilon_0 = \sqrt{\dfrac{2Fl}{m}} = 10$ м/с. **3.135.** По льду дальше в $n = \dfrac{1}{2\mu\sin 2\alpha} = 25$ раз. **3.136.** $F = \dfrac{m\upsilon^2}{l}$. **3.137.** $E_к = \dfrac{F^2t^2}{2m} = 36$ Дж. **3.138.** $E_к = \dfrac{\alpha x^2}{2}$. **3.139.** $F_с = \dfrac{m}{2d}(\upsilon_0 - \upsilon_1)(\upsilon_0 + \upsilon_1 - 2u)$. **3.140.** $F = \dfrac{x}{m\alpha^2}$. **3.141*.** а) $l = \dfrac{m\upsilon_0}{k\eta} \times (\eta - 1) = 0{,}5$ м; б) $l = \dfrac{m\upsilon_0}{k} = 1$ м. **3.142.** $l_{min} = \dfrac{\upsilon^2}{\mu g} \approx 3{,}2$ м. **3.143.** $\upsilon \geqslant \sqrt{2\mu g l}$. **3.144.** $F = \dfrac{2E_к}{R} = 36$ Н, направлена к центру окружности, $A = 0$. **3.145.** $E_к = \dfrac{\alpha m R t^2}{2}$. **3.146.** $\upsilon = \sqrt{\dfrac{2FR}{m} + \upsilon_0^2} = 16$ м/с. **3.147.** $E_{к1} = 2mgl$; $E_{к2} = mgl$; $E_{к3} = \dfrac{1}{2}mgl$; третье положение наиболее устойчивое. **3.149.** 1) $E_{п1} = m_1 g \times (h_1 + h_2) \approx 0{,}2$ Дж; $E_{п2} = 0$; $E_{п3} = m_3 g h_2 \approx 0{,}3$ Дж. 2) $E_{п1} = m_1 g h_1 = 9{,}8 \cdot 10^{-2}$ Дж; $E_{п2} = -m_2 g h_2 = -0{,}29$ Дж; $E_{п3} = 0$. **3.150.** $h = h_1 + \dfrac{\Delta E_п}{mg} = 50{,}6$ м. **3.151.** $E_п = 0{,}5$ Дж. **3.152.** $E_п = \dfrac{kl_0^2}{18} = 1$ Дж. **3.153.** $k = \dfrac{2E_п}{\Delta x^2} = 1250$ Н/м. **3.154.** $\Delta E_п = \dfrac{k}{2}(\Delta x_2^2 - \Delta x_1^2) = 15$ Дж. **3.155.** $\Delta E_п = 0$. **3.156.** 1) $\dfrac{E_{п1}}{E_{п2}} = \dfrac{k_2}{k_1}$; 2) $\dfrac{E_{п1}}{E_{п2}} = \dfrac{k_1}{k_2}$. **3.157.** $h = \dfrac{\upsilon^2}{4g} = 23$ см. **3.158.** $\Delta E_п = mg\left(\upsilon_0 t_1 - \dfrac{gt^2}{2}\right) = 200$ Дж. См. рис. 41.

υ_y, м/с; 20; 10; 0; 1; 2; t, с

а)

$E_п$, Дж; 200; 100; 0; 1; 2; t, с

б)

Рис. 41

Ответы

3.159. $E_п = mg\left(v_0 \cdot t\sin\alpha - \frac{gt^2}{2} + h\right)$; $E_к = \frac{m}{2}(v_0{}^2 - 2v_0gt \cdot \sin\alpha + g^2t^2)$; $t = \frac{v_0}{g}\left(\sin\alpha \pm \sqrt{\frac{gh}{v_0^2} + \sin^2\alpha - \frac{1}{2}}\right)$ при $\frac{gh}{v_0^2} + \sin^2\alpha \geqslant \frac{1}{2}$. **3.160.** $N = mg(gt - v_0 \cdot \sin\alpha) = 0{,}96t - 5$; $N_{ср} = -\frac{mgv_0 \cdot \sin\alpha}{2} = -24{,}5$ Вт. **3.161.** $\beta = \arcsin\left(\frac{v\sin\alpha}{\sqrt{v_0^2 + 2gh}}\right)$. **3.162.** $v = \sqrt{gl\frac{2m_1 + m_2}{m_1 + m_2}}$. **3.163.** $N \approx 11 \cdot 10^6$ кВт.

3.164. $N_{пол} = \frac{\eta Q}{2}\rho(v_0{}^2 + 2gh - v^2) = 19$ кВт. **3.165.** $A = mH\left(\frac{2H}{t^2} + g\right) = 15{,}9 \cdot 10^6$ Дж. **3.166.** $A = \frac{\rho SH^2}{8}\left(\frac{HS^2}{2\pi^2R^4t^2} + 3g\right)$; $N = \frac{\rho SH^2}{8t}\left(\frac{HS^2}{2\pi^2R^4t^2} + 3g\right)$; $\eta = \frac{6\pi^2gR^4t^2}{6\pi R^4t^2g + S^2H}$. **3.167.** $H_{max} = \frac{4mMl}{4m^2 - M^2}$. **3.168.** $v = \sqrt{\frac{4gs(2m_1 - m_2)}{4m_1 + m_2}} = 5{,}1$ м/с. **3.169.** Да, т. к. $T \geqslant 6\,mg$. **3.170.** $T = mg(3\cos\alpha - 2\cos\alpha_0)$ при $\alpha = \alpha_0$. **3.171.** $\alpha = \arccos\frac{T}{3mg} = 60°$. **3.172.** $T = \frac{mg(3l - 2l\cos\alpha - a)}{l - a}$. **3.173.** $\Delta h = \frac{R}{3} = 0{,}3$ м. **3.174.** $F = 0$. **3.175.** $H = \frac{5}{2}R$. **3.176.** $h = \frac{R}{2\cos\alpha}$. **3.177.** $h = \frac{25}{27}l$. **3.178.** $v_0 = \sqrt{gl(\sqrt{3} + 2)} \approx 6{,}1$ м. **3.179.** $M = \frac{3m}{\pi - 1}$. **3.180.** $h = \frac{l}{4}\frac{T_0}{mg}$.

3.181. $\omega = \sqrt{6g\frac{(1 - \cos\alpha)}{5l}}$. **3.182.** $v = \sqrt{\frac{2g(m_1(l_1 + l_2) + m_2l_2)}{m_1 + m_2l_2^2/(l_1 + l_2)^2}}$. **3.183.** $v = \sqrt{\frac{2mgs}{m + M}}$. **3.184.** $v_1 = \sqrt{\frac{2gs_1(1 - m_2r/(m_1R))}{1 + m_2r^2/(m_1R^2)}}$; $v_2 = \frac{r}{R}v_1$. **3.185.** $v = g\sqrt{\frac{m}{k}}$.

3.186. $x = x_0\left(1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{x_0}}\right) = 2{,}51$ см. **3.187.** $E_к = \frac{m\omega^2(x + l)^2}{2}$; $E_п = \frac{m\omega^2x(l + x)^2}{2}$; $\omega^2 < \frac{k}{m}$. **3.188.** $A = \frac{kl_0^2(k + m\omega^2)m\omega^2}{2(k - m\omega^2)^2}$. **3.189.** $\Delta x = \frac{3mg - kl + \sqrt{(32mg)^2 + 18mglk + (kl)^2}}{2k} = 0{,}25$ м. **3.190.** $H = \frac{2h_0^2T}{mgl} - h_0 \approx$

$\approx$ **6,24 м. 3.191.** $\Delta x = \dfrac{h^2}{2(h+H)} = 0{,}1$ м. **3.192.** $\Delta l \geqslant \dfrac{3mg}{k}$. **3.193.** $A = \dfrac{mv}{2} \times (gt - v) = 2{,}16$ кДж. **3.194.** $A = \dfrac{m}{2}(v^2 + 2g(H+h)) = 504$ Дж. **3.195.** $A = m\left(\dfrac{v^2}{2} + g(h - \Delta h)\right) + E_к$. **3.196.** $A = \dfrac{m}{2}\dfrac{g(l^2 + 16h^2)}{8h}$. **3.197.** $s = H\left(\dfrac{1}{\mu} - \operatorname{ctg}\alpha\right)$.

3.198. $A = 2mgh = 117{,}6$ Дж. **3.199.** $Q = \dfrac{\mu A \operatorname{ctg}\alpha}{1 + \mu \operatorname{ctg}\alpha} = 0{,}88$ Дж. **3.200.** $h = \dfrac{v_0^2}{2g(1 - \mu\cdot\operatorname{ctg}\alpha)}$. **3.201.** $v = \sqrt{v_0^2 - 4\mu gh\cdot\operatorname{ctg}\alpha} \approx 8{,}9$ м/с. **3.202.** $h = H\dfrac{1 - \mu\cdot\operatorname{ctg}\alpha}{1 + \mu\cdot\operatorname{ctg}\alpha} = 0{,}4$ м. **3.203.** $v = \sqrt{gl(1-\eta)} = 3{,}1$ м/с; $A = \dfrac{\eta(\eta - 1)mgl}{2} = -1{,}3$ Дж. **3.204.** $Q = \dfrac{k}{4}(l - l_0)^2$. **3.205.** $x = \dfrac{2mg}{k}(\sin\alpha - \mu\cdot\cos\alpha) = 2{,}9$ см.

3.206. $Q = F\left(l_0 + \dfrac{F}{k}\right)$. **3.207.** $v_1 = \sqrt{\dfrac{2E_к m_2}{m_1(m_1+m_2)}}$; $v_2 = -v_1\dfrac{m_1}{m_2} = -\sqrt{\dfrac{2E_к m_1}{m_2(m_1+m_2)}}$.

3.208. $v_1 = 2$ м/с; $v_2 = 1$ м/с. **3.209.** $v_1 = \sqrt{\dfrac{2E_к m_1}{m_2(m_1+m_2)}} + gt = 163$ м/с; $v_2 = \sqrt{\dfrac{2E_к m_2}{m_1(m_1+m_2)}} - gt = 245$ м/с; $E_к = E - (m_1 + m_2)gH$. **3.210.** $v_2 = v_1 \times \sqrt{\dfrac{M}{m+M}} = 4{,}95$ м/с. **3.211.** $E = 2\mu mgl = 128$ Дж. **3.212.** $s = (mu)^2\cdot\dfrac{\cos^2\alpha}{2\mu gM^2}$.

3.213. $A = \dfrac{mM}{M+m}\cdot\dfrac{v^2}{2} = 1{,}7$ Дж. **3.214.** $h = \dfrac{Mv^2}{2g(m+M)}$. **3.215.** $v = 2\sin\dfrac{\alpha}{2}\sqrt{\dfrac{m^2gl}{M(M+m)}} \approx 0{,}44$ м/с; $\omega = \dfrac{(m+M)v}{ml} = 2{,}6$ с$^{-1}$. **3.216.** $v = \sqrt{2gh\left(1 + \dfrac{m}{M}\right)} = 4{,}9$ м/с. **3.217*.** $t = \left(\sqrt{1 + \dfrac{h_2(M + m\sin^2\alpha)}{h_1(M+m)\sin^2\alpha}} - 1\right)\cdot\sqrt{\dfrac{2h_1(M+m)\sin^2\alpha}{g(M + m\sin^2\alpha)}} + \sqrt{\dfrac{2h_1(M + m\sin^2\alpha)}{g(M+m)\sin^2\alpha}} \approx 0{,}42$ с. **3.218.** $Q = \dfrac{mM}{m+M}\cdot\dfrac{v^2}{2} = 9{,}5$ Дж. **3.219.** $v_2 = v_1\dfrac{m_1}{m_2} \mp u\left(1 + \dfrac{m_1}{m_2}\right)$; $v_2 = 5$ м/с; $v_2 = 35$ м/с; $\Delta E = \dfrac{m_1 + m_2}{2}\cdot\dfrac{m_1}{m_2}\cdot v_1 \mp u)^2 =$

Ответы

$= 40$ Дж; $\Delta E = 640$ Дж. **3.220*.** $\frac{m}{M} = 1$. **3.221.** $F = (M + m)g + \frac{M^2}{m + M} g \frac{H}{h} = 68$ кН; $\eta = \frac{M \cdot 100\,\%}{m + M} = 80\%$. **3.222.** $Q = \frac{mv^2}{8}\left(3 - \frac{m}{M}\right)$. **3.223.** $\mu \leqslant 0{,}08\left(\frac{m}{M}\right)^2 \frac{v^2}{gl} = 0{,}24$. **3.224.** $H = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right)^2 R = \frac{R}{4}$. **3.225.** $H = h\left(\sqrt{\frac{v_0^2}{2gh}} - \frac{M}{m}\right)^2$. **3.226.** $u = \sqrt{2gH + \left(\frac{m}{M}v\right)^2}$. **3.227.** $x = \frac{mv}{\sqrt{k(m + M)}} = 0{,}11$ м. **3.228.** $t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \cdot \frac{1 + \sqrt{\eta}}{1 - \sqrt{\eta}} \approx 12$ с. **3.229.** $A = mgh\frac{1 - (1 - \eta)^{2n}}{(1 - \eta)^{2n}}$. **3.230.** $\beta = \arcsin\left(\sqrt{\frac{3}{2}} \sin\alpha\right) = 60°$.

3.231. $h_1 = h \frac{(l + R)^2}{R^2 + (l + R)^2} \approx 0{,}96$ м. **3.232*.** $v = \sqrt{gh}$. **3.233.** $u_1 = \frac{2v_2 m_2 - v_1(m_2 - m_1)}{m_1 + m_2} = -1$ м/с; $u_2 = \frac{2v_1 m_1 - v_2(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2} = 5$ м/с.

3.234. $\frac{M}{m} = 1$; $\Delta E_к = \frac{mv^2}{2}$. **3.235.** $\frac{m}{M} = \frac{\sqrt{n} - 1}{\sqrt{n} + 1} = \frac{1}{3}$. **3.236.** $E_п = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (v_1 + v_2)^2$. **3.237.** $u_1 = 2v - v_1$; $u_2 = 2v - v_2$. **3.238.** $v_1 = x \times \sqrt{\frac{k(m_1 + m_2)}{m_1 m_2}}$; $u_1 = x(m_1 - m_2)\sqrt{\frac{k}{m_1 m_2(m_1 + m_2)}}$; $u_2 = 2x\sqrt{\frac{k m_1}{m_2(m_1 + m_2)}}$.

3.239. $v_N = v$. **3.240.** $m_2 = \sqrt{m_1 m_3}$; $v = \frac{4 m_1 v_1}{\left(\sqrt{m_1} + \sqrt{m_3}\right)^2}$. **3.241.** $1 \leqslant k \leqslant 2$; $k = 1$ упругий удар; $k = 2$ неупругий удар. **3.242*.** $n = \frac{\frac{\lg k}{2}}{\lg\left|\frac{1 + \eta}{1 - \eta}\right|}$. Тяжелая вода (дейтроны), $\eta = 2$. При одном столкновении энергия нейтрона уменьшается в 9 раз. У свинца $\eta = 207$, поэтому для уменьшения энергии в 2 раза требуется 36 столкновений. **3.243.** $v = \frac{L}{4}\sqrt{\frac{g}{2h}}$. **3.244.** $\alpha = 90°$. **3.245.** $u_1 = v \cdot \cos\alpha = 1{,}7$ м/с; $u_2 = v \sin\alpha = 1$ м/с; $\beta = 60°$. **3.246.** $\eta = \frac{2m_n}{m_d + m_n} = \frac{2}{3}$.

3.247. $\frac{m_1}{m_2} = 1 + 2 \cdot \cos\theta = 2$. **3.248.** $\frac{m_1}{m_2} = \frac{\sin(\alpha - 2\beta)}{\sin\alpha}$. **3.249.** $\frac{M}{m} = \frac{5}{3}$; $u = \frac{3v}{2\sqrt{5}}$; $\beta = \mathrm{arctg}\frac{1}{2} = 26{,}6°$. **3.250.** $\alpha = \arcsin\frac{m_2}{m_1}$. **3.251.** $h = \frac{v^2}{2g}\left(\frac{m_1}{m_1 + m}\right)^2 = 0{,}46$ м; $\eta = 0{,}995$. **3.252.** $l = \frac{v^2}{5g}\left(\frac{m}{m + M}\right)^2 = 0{,}5$ м; $l_{ст} = \frac{v^2}{4g}\left(\frac{m}{m + M}\right)^2 = 0{,}625$ м.

3.253. $\sin\frac{\alpha}{2} = \frac{m(v_1 - v_2)}{2M \cdot \sqrt{gl}} \approx \frac{1}{2}$; $\alpha = 60°$. **3.254.** $p = (m + M)\sqrt{gl} \cdot \sin\frac{\alpha}{2} = 0{,}33$ кг· м/с. **3.255.** $\varphi = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2}$. **3.256.** $h = \frac{4lm_1^2}{(m_1 + m_2)^2} = 12{,}5$ см. **3.257.** $H_1 = \left[\frac{2m_2}{m_1 + m_2}\right]^2 R$; $h_2 = \left[\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}\right]^2 R$. **3.258.** $\beta = 2 \cdot \arcsin\left[\frac{2m_1 \cdot \sin\frac{\alpha}{2}}{m_1 + m_2} \cdot \sqrt{\frac{l_2}{l_1}}\right]$.

3.259. $\alpha_л = 0$, $\alpha_п = \alpha$. **3.260.** $Q = \frac{m}{6}(v_0 - v_1) \cdot (v_0 + 5v_1) = 0{,}75$ Дж.

3.261. $\frac{m_2}{m_1} = (2 - \eta) \cdot \cos^2\alpha - 1 = 0{,}36$. **3.262.** а) $u_г = \sqrt{\frac{2m^2gh}{M(M + m)}} = 1{,}1$ м/с; $v = \sqrt{\frac{2gh(M + m)}{M}} = 5$ м/с; б) $a = \frac{1}{M}\sqrt{2mgkh} = 8{,}9$ м/с^2. **3.263.** $t_1 = 5$ с (с момента падения первого камня). **3.264.** $t \approx 1{,}4$ с. **3.265.** $h_1 = h\left(\frac{M - m}{M + m}\right)^2 = 0{,}36$ м. **3.266.** $Q = mh(g + a)$. **3.267.** $\frac{M}{m} > 3$. **3.268.** $h = \frac{h_0M^2}{(m + M)^2} \approx 0{,}48$ м.

3.269. $H = \frac{8mg}{k} \approx 0{,}39$ м.

4. Статика

4.1. Нет, да, нет. **4.2.** $\beta = 56°$. **4.3.** а) Векторы сил лежат в одной плоскости, и угол между ними 120°; б) рак и щука тянут в противоположные стороны, лебедь вертикально вверх, $F_л \leqslant mg$, где m — масса воза. **4.4.** Положение *а*. **4.6.** $F = 2T \cdot \sin\alpha = 13{,}6$ кН. **4.7.** Сила, действующая перпендикулярно веревке, может создать очень большое натяжение. **4.8.** $T = \frac{mgl}{4\Delta x} \approx 17$ кН.

Ответы

4.9. $F \leqslant \dfrac{\mu mg}{\cos\alpha + \mu\sin\alpha}$. **4.10.** $F = \dfrac{mg}{l}\left(\dfrac{h}{\mu} - \sqrt{l^2 - h^2}\right) = 7{,}8$ Н. **4.11.** $h = \dfrac{R}{\sqrt{1 + \mu^2}} = 0{,}39$ м. **4.12.** $F_1 = mg\,\mathrm{ctg}\,\alpha \approx 17$ Н; $F_2 = \dfrac{mg}{\sin\alpha} \approx 3{,}4$ Н. **4.13.** $F_{BC} = mg\dfrac{b}{\sqrt{b^2 - a^2}} \approx 2$ кН; $F_{AC} = mg\dfrac{a}{\sqrt{b^2 - a^2}} \approx 1{,}6$ кН. **4.14.** $F_1 = \dfrac{mg}{\sin\alpha} = 11{,}3$ Н; $F_2 = mg\,\mathrm{ctg}\,\alpha = 5{,}6$ Н. **4.15.** $T = \dfrac{mg}{\cos\alpha}$; $F = mg\cdot\mathrm{tg}\,\alpha$. **4.16.** $T = mg\cdot\mathrm{tg}\,\alpha = 5{,}7\cdot10^{-2}$ Н; $F = mg\dfrac{\cos 2\alpha}{\cos\alpha} = 5{,}7\cdot10^{-2}$ Н. **4.17.** $T = \dfrac{r + l}{R}mg$; $N = \dfrac{r + R}{R}mg$. **4.18.** Показания динамометра и силы давления не одинаковы. **4.19.** Равновесие нарушится. **4.20.** $m_3 = \sqrt{m_2^2 - m_1^2} \approx 15$ кг; $\alpha = \dfrac{\pi}{2} + \beta$, где $\cos\beta = \dfrac{m_1}{m_2} = \dfrac{10}{18}$; $\beta \approx 56°$. **4.21.** $F = \dfrac{2mg}{n - 1} = 0{,}98$ Н. **4.22.** $T_A = Mg$; $T_B = Mg + \dfrac{mg}{l}(l - x)$; $T_C = (M + m)g$. **4.23.** $l_0 = 3l - l_1$. **4.24.** $l_0 = \dfrac{m_1 l + m_2 l_1}{m_1 + m_2}$.
4.25. $x = \dfrac{5F}{k}$. **4.26.** а) $k = k_1 + k_2$; б) $k = \dfrac{k_1k_2}{k_1 + k_2}$. **4.27.** $\mu \geqslant \mathrm{ctg}\,\alpha$, от положения центра тяжести не зависит, т. е. равновесие будет, например, и с человеком, находящимся на лестнице. **4.28.** $\mu = \dfrac{1}{\sqrt{3}}$. **4.29.** $m \leqslant \dfrac{2M\mathrm{tg}\,\alpha}{\mathrm{tg}\,\beta - \mathrm{tg}\,\alpha}$, где $\mathrm{tg}\,\beta = \dfrac{R}{\sqrt{r(2R + r)}}$. **4.30.** $h = \dfrac{\sigma}{\rho g} \approx 680$ м. **4.31.** $F_1 = \dfrac{mg}{\cos\alpha + \sin\alpha\cdot\mathrm{ctg}\,\beta} = 15\sqrt{3}$ Н; $F_2 = \dfrac{mg}{\cos\beta + \sin\beta\cdot\mathrm{ctg}\,\alpha} = 15$ Н. **4.32.** $F_{ст} = mg\dfrac{h}{l} = 6$ Н; $F_{п} = mg \times \dfrac{\sqrt{l^2 - h^2}}{l} = 19$ Н. **4.36.** Увеличится в 1,5 раза. **4.37.** $M = Fh = 5$ Н·м.
4.38. $M_1 = 20$ Н · м; $M_2 = 10$ Н · м; $M_3 = 10$ Н · м; $M_4 = 5$ Н · м. **4.40.** а) Одновременно; б) правый. **4.41.** $F = mg = 98$ Н. **4.42.** $T_1 = mg\dfrac{(l - 2l_1)}{2(l - l_1)} \approx 4$ кН; $T_2 = mg\dfrac{l}{2(l - l_1)} \approx 5$ кН. **4.43.** $F_1 = g\left[\dfrac{m}{2} + m_1\left(1 - \dfrac{l_1}{l}\right)\right] \approx 2{,}4$ кН; $F_2 =$

$= g\left(\frac{m}{2} + m_1\frac{l_1}{l}\right) \approx 3$ кН. **4.44.** $l_1 = \frac{l(m + m_2)}{2(m + m_1 + m_2)} = 0{,}1$ м от конца с большим грузом. **4.45.** $M = \frac{ml}{l - 2l_1} = 120$ кг. **4.46.** $s = \frac{2m + M(1 - n)}{2m(1 + n)}\,l$.

4.47. $m = \frac{m_1 l - a(m_1 + m_2)}{a - \frac{l}{2}} = 24$ кг. **4.48.** $F = \frac{(l - 2c)mg}{2(l - c)} = 58{,}8$ Н.

4.49. $T = \frac{mg}{2}\cdot\left(1 - \frac{x}{l - x}\right)$. **4.50.** $m = \frac{M}{4} = 2{,}5$ кг. **4.51.** $m = \sqrt{m_1 m_2} = 0{,}32$ кг. **4.52.** $\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{1}{2\mu} = 1{,}43$; $\alpha = 55°$. **4.53.** $\mu \geqslant \mathrm{tg}\,\alpha = \frac{1}{\sqrt{3}}$. **4.54.** $\mu \geqslant \frac{1}{3}$.

4.55. $T = \frac{mg\,\mathrm{tg}\,\alpha}{2} = 392$ Н; $F = mg\sqrt{1 + \frac{\mathrm{tg}^2\alpha}{4}} = 877$ Н. **4.56.** $F = \frac{mg}{2}\cos\alpha$; $N = \frac{mg}{2}\sqrt{1 + 3\sin^2\alpha}$. **4.57.** $m = \frac{2F}{g\sin\alpha}$; $N = \frac{F}{\sin\alpha}\sqrt{1 - 3\cos^2\alpha}$.

4.58. $\gamma = 30°$; $N = mg\sin\gamma = 9{,}8$ Н. **4.60.** $\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{1 - \mu_1\mu_2}{2\mu_1} = 0{,}8$; $\alpha = 38°7'$.

4.61. $F = \frac{2mgh\,\mathrm{tg}\,\alpha}{l\cdot\cos\alpha}$. **4.62.** $F = mg\sqrt{1 + \frac{4}{9}\mathrm{ctg}^2\alpha} = 706$ Н; $N = \frac{2}{3}mg\,\mathrm{ctg}\,\alpha = 166$ Н. **4.63.** $F = mg\,\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{mg}{\sqrt{3}}$. **4.64.** $F_{\text{тр}} = \frac{mg}{\sqrt{3} + 1}$; $T = \frac{2mg}{\sqrt{3} + 1}$.

4.65. $\mathrm{tg}\,\alpha < \frac{1}{\mu}$. **4.66.** $h = \frac{b}{2\mu} = 30$ см. **4.67.** $\mu \leqslant \frac{1}{\sqrt{3}} = 0{,}58$. **4.68.** Тяжелее носильщику, находящемуся ниже; $n = \frac{k\cos\alpha + \sin\alpha}{k\cos\alpha - \sin\alpha} = 2{,}27$. **4.69.** $F = \frac{\sqrt{h(2R - h)}}{R - h}mg$. **4.70.** $\mu \leqslant \frac{a}{\sqrt{4R^2 - a^2}} = 0{,}33$. **4.71.** $\alpha = \mathrm{arctg}\,(2\mu)$. **4.72.** $F = \frac{mgh}{2l} = 100$ Н. **4.73.** $l = 2\Delta l = 20$ см. **4.75.** $x = \frac{m_2\frac{l}{6} + m_4\frac{l}{2} - m_1\frac{l}{2} - m_3\frac{l}{6}}{m + m_1 + m_2 + m_3 + m_4} \approx 0{,}13$ м, вправо от середины стержня. **4.76.** $x = 0{,}55R$, где x — расстояние от центра цинкового кольца до центра тяжести. **4.78.** $x = \frac{R}{2(2\pi - 1)} \approx 0{,}1$ м.

4.79. $x = \frac{d(r + R)}{2\pi(r + R) - 2d} \approx \frac{d}{2\pi} \approx 1$ мм, где x — расстояние от центра кольца до центра тяжести. **4.80.** $x = \frac{R}{14}$. **4.81.** $h = \frac{m}{\rho S}\left(\sqrt{1 + \frac{2\rho SH}{m}} - 1\right)$. **4.82.** $\frac{l}{2}$;

$\frac{l}{4}$; $\frac{l}{6}$; $\frac{l}{8}$. **4.83.** Нет. **4.84.** $h = l\frac{D}{\sqrt{h^2 + D^2}} = \frac{l}{\sqrt{17}}$. **4.85.** $\alpha > \frac{\pi}{3}$. **4.86.** $h < \frac{R}{\sqrt{2}}$.

4.87. $m = \frac{M \cdot \sin\alpha}{\sin\beta} \cdot \frac{R}{h - R}$. **4.88.** $\alpha = \operatorname{arctg}\frac{1}{3}$; $\alpha = 18{,}5°$. **4.89.** $\operatorname{tg}\alpha = \frac{1}{6}$; $\alpha = 9{,}46°$. **4.90.** $m = \frac{rM}{R - r}$. **4.91.** $T_н = \frac{mg}{2\operatorname{tg}\alpha}$; $T_п = \frac{mg}{2\sin\alpha}$. **4.92.** $F_A = mg\operatorname{tg}\alpha$; $F_B = \frac{mg\cos 2\alpha}{\cos\alpha}$. **4.93.** Нет. **4.94.** $l = 4R$. **4.95.** $F = \frac{R - r}{2R}mg$. **4.96.** $M = \frac{mgR}{24}$.

4.97. $M_3 = M_1\frac{R_3}{R_1}$. **4.98.** $N = \frac{k}{n} < 1$, ни одной.

5. Гравитация

5.1. $F = G\frac{M_З M_Л}{R_{ЗЛ}^2} = 2 \cdot 10^{20}$ Н; $a_Л = G\frac{M_З}{R_{ЗЛ}^2} = 2{,}7 \cdot 10^{-3}$ м/с^2; $a_з = G\frac{M_л}{R_{ЗЛ}^2} = 3{,}3 \cdot 10^{-5}$ м/с^2. **5.2.** $\frac{F_1}{F_2} = 9{,}7 \cdot 10^{68}$. **5.3.** В 2 раза. **5.4.** а) Уменьшится в 9 раз; б) увеличится в 4 раза. **5.5.** $\frac{F'}{F} = n^{\frac{4}{3}}$. **5.6.** На прямой, соединяющей m_1 и m_2 на расстоянии r_1 от m_1: $r_1 = \frac{l}{1 + \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}}$. От M не зависит. **5.7.** $l = \frac{R_{ЗЛ}}{1 + \sqrt{\frac{M_З}{M_Л}}} = 1{,}32 \cdot 10^8$ м. **5.8*.** $F = G \cdot \frac{mMr}{\left(r^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}}$; а) $F = 8G\frac{mMr}{l^3}$ при $r << l$; б) $F = G \times \frac{mM}{r^2}$ при $r >> l$; в) $F_{max} = 8G\frac{mM}{3\sqrt{3} \cdot l^2}$ при $r = \frac{l}{2\sqrt{2}}$. **5.9*.** $\vec{F}_3 = -2 \cdot 10^{-10}\vec{i}$ Н.

5.10. $\frac{F_б}{F_а} = 1{,}39$. **5.11.** $F_1 = \frac{4}{3}\pi G\rho m\sqrt{\frac{R^6}{l^4} + \frac{r^6}{(l^2 - s^2)^2} - \frac{2R^3r^3}{l^3(l^2 - s^3)^{\frac{1}{2}}}}$; $F_2 = \frac{4}{3}\pi G\rho m\sqrt{\frac{R^6}{l^4} + \frac{r^6}{(l^2 + s^2)^2} - \frac{2R^3r^3}{l \cdot (l^2 + s^2)^{\frac{3}{2}}}}$. **5.12.** $F = (\rho^2 - \rho_0^2)G\frac{V_1V_2}{r^2} =$

$= 6{,}0 \cdot 10^{-12}$ Н. **5.13.** $g_C = G\dfrac{M_C}{R_C^2} = 270$ м/с^2. **5.14.** $g_Л = 1{,}6$ м/с^2. **5.15.** $M = \dfrac{gR^2}{G} = 5{,}98 \cdot 10^{24}$ кг. **5.16.** $g_М = \dfrac{M_М}{M_З}\left(\dfrac{R_З}{R_М}\right)^2 g_З = 3{,}7$ м/с^2. **5.17.** $g_h = \dfrac{g_0}{4} \approx 2{,}45$ м/с^2. **5.18.** $h = R(\sqrt{n} - 1) = 2R = 12{,}74 \cdot 10^3$ км. **5.19.** $R = R_З\sqrt{\dfrac{g_0 t^2}{2s}} = 1{,}9 \cdot 10^7$ м. **5.20.** $F = \dfrac{4}{3}\pi G\rho m r$. **5.21.** $h = 0{,}1R_З$. **5.22*.** $A = \dfrac{mgR_З}{2} = 3{,}1 \cdot 10^7$ Дж. **5.23.** $v = \sqrt{gR} = 7{,}9$ км/с. **5.24.** $v = \sqrt{gR} = 7{,}9$ км/с. **5.25.** $\dfrac{v_З}{v_Л} = \sqrt{\dfrac{M_З}{M_Л} \cdot \dfrac{R_Л}{R_З}} = 4{,}6$. **5.26.** $v = 2R\dfrac{M}{m}\sqrt{\dfrac{G\pi\rho}{3}} \approx 12$ м/с. **5.27.** $v_h = \sqrt{\dfrac{GM}{R + h}}$; $v_{h1} = 5{,}6$ км/с. **5.28.** $v = \sqrt{\dfrac{GM_З}{R_З + h}} = R_З\sqrt{\dfrac{g}{R_З + h}} = 6{,}37$ км/с. **5.29.** Не сможет, т. к. станет спутником Земли. **5.30.** $T = 2\pi R\sqrt{\dfrac{R}{GM_C}} = 15$ месяцев. **5.31.** Нет.

5.32. $n = \dfrac{tR_З}{2\pi R} \cdot \sqrt{\dfrac{g_0}{R}} \approx 14$. **5.33.** $h = R_З\left(\sqrt[3]{\dfrac{gt^2}{4\pi^2 n^2 R_З}} - 1\right) \approx 2{,}7 \cdot 10^3$ км.

5.34. $\Delta h = R_З\sqrt[3]{\dfrac{g}{4\pi^2 R_З}}\left(\sqrt[3]{T_1^2} - \sqrt[3]{T_2^2}\right) = 170$ км. **5.35.** $M = \dfrac{\omega^2 R^3}{G} = 2 \cdot 10^{30}$ кг.

5.36. $\rho = \dfrac{3\pi}{GT^2}$, не изменится. **5.37.** $h = R_З\left(\dfrac{gR_З m}{2E_к} - 1\right) = 3{,}78 \cdot 10^4$ км.

5.38. $g = \dfrac{4\pi^2 R_{ЛЗ}^3}{T_Л^2 R_З^2} = 9{,}83$ м/с^2. **5.39.** $\dfrac{M_C}{M_З} = \left(\dfrac{R_{ЗС}}{R_{ЛЗ}}\right)^3 \cdot \left(\dfrac{T_Л}{T_З}\right)^2 = 3{,}5 \cdot 10^5$.

5.40. а) $\dfrac{R_Ю}{R_З} = \left(\dfrac{T_Ю}{T_З}\right)^{\frac{2}{3}} = 5{,}24$; б) $\dfrac{\omega_З}{\omega_Ю} = \dfrac{T_Ю}{T_З} = 12$; $\dfrac{v_З}{v_Ю} = \left(\dfrac{T_Ю}{T_З}\right)^{\frac{1}{3}} = 2{,}3$; $\dfrac{a_З}{a_Ю} = \left(\dfrac{T_Ю}{T_З}\right)^{\frac{4}{3}} = 27{,}5$. **5.41.** $\dfrac{T_{пл}}{T_{мод}} = 1$. **5.42.** а) Не изменится; б) уменьшится в $\sqrt{m}$ раз. **5.43.** $r_1 = \dfrac{m_2 r}{m_1 + m_2}$; $r_2 = \dfrac{m_1 r}{m_1 + m_2}$; $T = 2\pi r\sqrt{\dfrac{r}{G(m_1 + m_2)}}$.

5.44. $r = \dfrac{T}{2\pi} \cdot (v_1 + v_2)$; $m_1 = \dfrac{Tv_2}{2\pi G} \cdot (v_1 + v_2)^2$; $m_2 = \dfrac{Tv_1}{2\pi G} \cdot (v_1 + v_2)^2$.

Ответы

5.45. Уменьшится в $\sqrt{2}$ раз. **5.46.** Земля и Луна притягиваются к Солнцу как единая система тел. Центр тяжести системы Земля—Луна вращается вокруг Солнца по эллиптической орбите. **5.47.** $F_H = GMm\dfrac{R_2^3 - R_1^3}{R_1^2 R_2^2(R_1 + R_2)}$. **5.48.** $\rho = \dfrac{3\pi\left(1 + \dfrac{d}{\alpha R_{зп}}\right)^3}{G\cdot(6{,}4T_з)^2} = 0{,}76$ кг/м^3. **5.49.** $p = 2m\sqrt{\dfrac{GM}{R}}\cdot\sin\left(\dfrac{\alpha}{2}\right)$. **5.50.** $F = \dfrac{3}{4}m\dfrac{v^2}{R}$. **5.51.** а) $n_1 = 3$; б) $n_2 = \dfrac{3}{4}$. **5.52.** $P = \dfrac{\dfrac{4\pi^2}{T^2}\cdot mR_{лз}}{1 + \sqrt{\dfrac{M_л}{M_з}}} = 0{,}17$ Н. **5.53.** $T = \dfrac{2\pi(R_з + h)^{\frac{3}{2}}}{R_з\cdot g^{\frac{1}{2}}} = 24$ ч; спутник все время находится над одной точкой земной поверхности; $t = \dfrac{2h}{c} = 0{,}24$ с, где c — скорость света. **5.54.** $v = \sqrt{g_0 R_з} \mp \dfrac{2\pi R_з}{T}$; $v_1 = 7{,}4$ км/с; $v_2 = 8{,}4$ км/с. **5.55.** 1) Спутник вращается быстрее Земли ($\omega > \omega_з$): $\dfrac{R}{R_з} = \left(\dfrac{gT_з}{9\pi^2 R_з}\right)^{\frac{1}{3}} = 5$; 2) спутник вращается медленнее Земли ($\omega < \omega_з$): $\dfrac{R}{R_з} = \left(\dfrac{gT_з}{\pi^2 R_з}\right)^{\frac{1}{3}} = 10{,}5$. **5.56.** $v = R_з\left[\sqrt{\dfrac{g}{8R}} \mp 2\pi\left(\dfrac{1}{T_з} \pm \dfrac{1}{T}\right)\right]$; а) человек движется с запада на восток (в направлении вращения Земли), $v = 100$ м/с; б) человек движется с востока на запад, $v = 1$ км/с. **5.57.** $P = m\left(g_0 - \dfrac{4\pi^2}{T_з^2}\cdot R_з\cdot\cos^2\varphi\right) = 9{,}82m$. **5.58.** $T = \sqrt{\dfrac{3\pi}{G\rho}\cdot\dfrac{n}{n-1}}$. **5.59.** $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{R}{g}} = 1{,}4$ ч. **5.60.** $H = R\left(\sqrt[3]{\dfrac{gT^2}{4\pi^2 R}} - 1\right) = 36\,000$ км, где $\omega = \dfrac{2\pi}{T}$ — угловая скорость вращения Земли. **5.61.** $\rho = \dfrac{3\pi}{G\eta T^2} \approx 3\cdot10^3$ кг/м^3. **5.62.** $\Delta F = \dfrac{8\pi mv}{T} = 8{,}7$ кН. **5.63.** $v_{II} = \sqrt{2gR} = 60$ км/с. **5.64.** $v_{II} = \dfrac{R_з}{3}\sqrt{2\pi G\rho_з} = 3{,}2$ км/с. **5.65.** а) $v_2 = \sqrt{gR}\cdot(\sqrt{2} - 1) = 3{,}3$ км/с; б) $v_2 = 7{,}9$ км/с. **5.66.** $h = R_з$. **5.67.** $\dfrac{v_{II}}{v_x} = \dfrac{1}{\sqrt{2\eta}} = 10$. **5.68.** $v = \sqrt{\dfrac{8\pi R}{T}\sqrt{2gR}} = 4{,}6$ км/с. **5.69.** $E_п = -2E_к = -2\cdot10^9$ Дж.

5.70. $E_п = -\frac{GM_з m}{R+h} = -5{,}4 \cdot 10^7$ кДж; $E_к = \frac{-E_п}{2} = 2{,}7 \cdot 10^7$ кДж; $E = E_п + E_к = -2{,}7 \cdot 10^7$ кДж. **5.71*.** $E = \frac{3}{4} mgR$. **5.72*.** $\frac{\Delta E_п}{\Delta E_к} = 2\left(\frac{R}{R_з} - 1\right)$; при $R = 2R_з$ $\frac{\Delta E_п}{\Delta E_к} = 2$. **5.73.** $A = \frac{m}{2} gR_з^2\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) = 2 \cdot 10^{10}$ Дж. **5.74.** $\upsilon = \left[\upsilon_0^2 + \frac{2g(h_1 - h_2)R_з^2}{(R_з + h_1)(R_з + h_2)}\right]^{\frac{1}{2}} = 9{,}64$ км/с. **5.75.** $x = \frac{R_{лз}}{1 + \sqrt{\frac{M_л}{M_з}}} = 0{,}9R_{лз} = 3{,}46 \cdot 10^8$ м. **5.76.** $A = Gm\left[\frac{M_з}{R_з} - \frac{M_л}{R_л} - \frac{M_з - M_л}{R_{лз}}\right] = 5{,}88 \cdot 10^{13}$ Дж.

5.77. $h \approx \frac{R_л}{30} = 60$ *км*. **5.78.** *T = 76 лет, в 1910 году.* **5.79.** *Большая полуось:* $a = R_з + \frac{h_1 + h_2}{2}$; $T = 2\pi \cdot \frac{a}{R_з}\sqrt{\frac{a}{g}} = 12$ ч. **5.80.** $t = \pi\sqrt{\frac{(R_з + r)^3}{GM_з}}$. **5.81.** $S = \frac{1}{2} R\upsilon t \cdot \sin\alpha$. **5.82.** *Движение по эллипсу.* $R = \frac{R_з}{\frac{2gR_з}{\upsilon_0^2} - 1}$.

6. Механические колебания и волны

6.1. $T = 0{,}33$ с; $\nu = 3$ Гц. **6.2.** $T = 1{,}67$ с; $\omega = 3{,}77$ рад/с. **6.3.** Комар делает больше на 24 000 взмахов. **6.4.** $N = 30\,000$. **6.5.** $A = 5$ см; $T = 1$ с; $\nu = 1$ Гц. **6.6.** $x = 0{,}8\sin \pi t$. **6.7.** $A = 0{,}2$ м; $T = 0{,}5$ с; $\varphi = -\frac{\pi}{4}$ рад; $x_0 = -0{,}14$ м. **6.8.** $x = 3\sin\left(4\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$. См. рис. 42. **6.9.** $x = 0{,}08\cos\left(2\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$. См. рис. 43. **6.10.** $x = 6\cos(-\pi) = -6$ см. **6.11.** $A = \frac{x}{\sin\frac{\pi}{6}} = 12$ см. **6.12.** $x = 0{,}12$ м. **6.13.** $A = 0{,}1$ м;

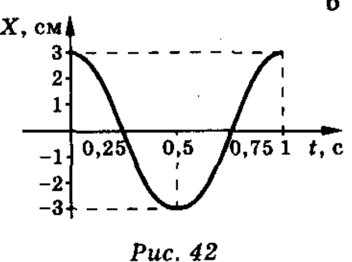


Рис. 42

X, см
8
–8
0,5
1
t, c

Рис. 43

Ответы

$T = 2$ с. **6.14.** $A = 1{,}2$ м; $\omega = \dfrac{2\pi}{3}$ рад/с; $T = 3$ с; $\varphi_0 = \dfrac{\pi}{4}$ рад; $v_{max} = A\omega = 2{,}5$ м/с; $a_{max} = A\omega^2 = 5{,}26$ м/с^2. См. рис. 44. **6.15.** $v = 2\pi\nu \cdot \sqrt{A^2 - x^2} = 8{,}2$ см/с. **6.16.** $A = x\sqrt{1 + \dfrac{v^2}{ax}} = 4{,}15 \cdot 10^{-2}$ м; $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{x}{a}} = 1{,}4$ с; $\varphi = \operatorname{arctg} \dfrac{\sqrt{ax}}{v} = 74{,}4°$; $v_{max} = \sqrt{ax + v^2} = 0{,}19$ м/с; $a_{max} = a\sqrt{1 + \dfrac{v^2}{ax}} = 0{,}83$ м/с^2. **6.17.** $t_1 = \dfrac{T}{12} = \dfrac{1}{3}$ с; $t_2 = 1$ с; $t_3 = \dfrac{5}{3}$ с. **6.18.** В 2 раза. **6.19.** $x = 5\sin\left(\pi t + \dfrac{\pi}{6}\right)$ см. **6.20.** $t = \dfrac{T}{6}$. **6.21.** $t = 7{,}3$ с. **6.22.** $F = -m\omega^2 x = -45$ Н; $E_к = 0$; $E_п = E = \dfrac{m\omega^2 A^2}{2} = 4{,}5$ Дж. **6.23.** $E = \dfrac{m\omega^2 A^2}{2} = 6{,}32$ Дж; $F_{max} = m\omega^2 A = 15{,}8$ Н. **6.24.** $A = \dfrac{2E}{F_{max}} = 2 \cdot 10^{-2}$ м. **6.25.** $t = \dfrac{1}{2}\arcsin\dfrac{2E_n}{5F} = 0{,}25$ с. **6.26.** $A = \sqrt{\dfrac{x_1^2 v_2^2 - x_2^2 v_1^2}{v_2^2 - v_1^2}}$; $\omega = \sqrt{\dfrac{v_2^2 - v_1^2}{x_1^2 - x_2^2}}$; $E = \dfrac{m}{2} \times \dfrac{x_1^2 v_2^2 - x_2^2 v_1^2}{x_1^2 - x_2^2}$. **6.27.** $x = \dfrac{2E}{F}\sin\left[\dfrac{2\pi t}{T} + \dfrac{\pi}{3}\right] = 0{,}04\sin\pi\left(t + \dfrac{1}{3}\right)$. **6.28.** $E = \dfrac{mv_0^2}{2}$; $A = v_0\sqrt{\dfrac{m}{k}}$; $\omega = \sqrt{\dfrac{k}{m}}$. **6.29.** $\dfrac{E_k}{E_n} = \dfrac{A^2}{x^2} - 1$; а) $\dfrac{E_k}{E_n} = 15$; б) $\dfrac{E_k}{E_n} = 3$; в) $\dfrac{E_k}{E_n} = 0$.

6.30. Не будет, т. к. не выполняется условие скольжения $4\pi^2\nu^2 A > \mu g$ ($4\pi^2\nu^2 A = 1{,}60$ м/с^2; $\mu g = 1{,}96$ м/с^2). **6.31.** $F = m\left[\dfrac{4\pi^2 A}{T^2} + g\right]$, тело не отрывается от платформы, если $g > \dfrac{4\pi^2 A}{T^2}$. **6.32.** $T = \dfrac{2}{\sin\alpha}\sqrt{\dfrac{2H}{g}}$, колебания негармонические. **6.33.** Да. $A = 5$ м; $\omega_1 = \omega$; $\varphi_0 = \arcsin\dfrac{4}{5} = 53°$. **6.34.** Нет.

Рис. 44

$y = A - \frac{2x^2}{A}$. См. рис. 45. **6.35.** $T = 0{,}63$ с. **6.36.** В 16 раз.

6.37. Уменьшится в 3 раза. **6.38.** $m = \frac{kT^2}{4\pi^2} = 6{,}3$ кг.

6.39. $m = \frac{kt^2}{4\pi^2 N^2} = 4{,}05$ кг. **6.40.** $\frac{T_1}{T_2} = 2$. **6.41.** $T = 2\pi \times \sqrt{\frac{m\Delta x}{F}} = 0{,}628$ с. **6.42.** $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 1{,}26$ с.

6.43. $\Delta x = g\frac{T^2}{4\pi^2} = 6{,}2$ см. **6.44.** $\Delta x = \frac{g}{4\pi^2}(T_2^2 - T_1^2)$.

Рис. 45

6.45. $T = \sqrt{T_2^2 + T_1^2}$; $T' = \sqrt{\frac{T_2^2 + T_1^2}{2}}$. **6.46.** $T = 2\pi\sqrt{\frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{g}} = 0{,}35$ с.

6.47. $\Delta x = \frac{(m_0 + m_2)gT^2}{(m_0 + m_1)\cdot 4\pi^2} = 0{,}45$ м. **6.48.** $m_2 = m_1(n^2 - 1) = 300$ г. **6.49.** $T_1 = T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{m_2}{k_2}} = 0{,}44$ с, $k_1 = k_2\frac{m_1}{m_2} = 20$ Н/м. **6.50.** $\frac{T_{ст}}{T_д} = \sqrt{\frac{\rho_{ст}}{n^3\rho_д}} = \frac{1}{4}$.

6.51. $\frac{T_{пос}}{T_{пар}} = \frac{k_1 + k_2}{\sqrt{k_1k_2}}$. **6.52.** $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2k}}$. **6.53.** $T = 0{,}7$ с. См. рис. 46. **6.54.** $k = 79$ Н/м. **6.55.** $l = v\sqrt{\frac{m}{k}}\left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$. **6.56.** $l = 0{,}71\, x_0$. **6.57.** $E = \frac{m\omega_0^2A^2}{2} = 1{,}44\cdot 10^{-3}$ Дж. **6.58.** $E = 0{,}049$ Дж; $E_п = 0{,}027$ Дж; $E_к = 0{,}022$ Дж. **6.59.** $E = \frac{mgx_0^2}{2\Delta x} = 0{,}1$ Дж. **6.60.** $\frac{E_1}{E_2} = \frac{\Delta x_1}{\Delta x_2} = 2$. **6.61.** $A = \sqrt{\frac{2E}{k}} = 4{,}5$ м; $v_{max} = \sqrt{\frac{2E}{m}} = 0{,}45$ м/с; $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 0{,}63$ с. **6.62.** $k = \frac{mv_{max}^2}{x_{max}^2} = 10$ Н/м. **6.63.** $m = \frac{kA^2}{v^2} = 130$ г.

6.64. $A = \sqrt{\frac{mv^2}{k}} = 4$ см. **6.65.** $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 0{,}31$ с; $A = \sqrt{x^2 + \frac{mv^2}{k}} = 0{,}2$ м.

6.66. $A = \frac{Ft}{\sqrt{km}} = 0{,}18$ с. **6.67.** $T = 2\pi\sqrt{\frac{A}{g}} = 0{,}45$ с.

6.68. $A = \frac{mg}{k}\cdot\sqrt{1 + \frac{2kh}{mg}}$. **6.69.** $A = \frac{mg}{k} \times \sqrt{1 + \frac{2hk}{g(M + m)}}$; $h_1 \geq \frac{M(m + M)(2m + M)}{2km^2}\cdot g$.

Рис. 46

Ответы

6.70. $|v| = \sqrt{\dfrac{-kx^2 + 2g(M - m)x - Mg^2(2M + m)/k + 2m^2gH/(M + m)}{M + m}} =$ $= \sqrt{-400x^2 + 19{,}6x - 0{,}3}$. **6.71.** $T = \pi\sqrt{\dfrac{lm}{F}}$. **6.72.** $\omega = \sqrt{\dfrac{k_1 + k_2}{m}}$, не изменится. **6.73.** $A = g\dfrac{m}{k} = 6{,}1$ см. **6.74.** $T = \dfrac{4\pi}{3}\cdot\sqrt{\dfrac{m}{k}}$. **6.75.** $l_{max} = l_0 + v_0\sqrt{\dfrac{m}{2k}} = 13{,}5$ см; $l_{min} = l_0 - v_0\sqrt{\dfrac{m}{2k}} = 6{,}5$ см. **6.76.** $l_{max} = l_0 = 20$ см; $l_{min} = l_0 - \dfrac{F}{k} = 18$ см. **6.77.** $\dfrac{\Delta x_1}{\Delta x_2} = \sqrt{\dfrac{m}{M}} = 0{,}5$, где Δx_1 — удлинение при убранном правом упоре. **6.78.** $l = \dfrac{gT^2}{4\pi^2} = 0{,}25$ м. **6.79.** Увеличится в 1,73 раза. **6.80.** $\dfrac{l_1}{l_2} = \left(\dfrac{n_2}{n_1}\right)^2 = 9$. **6.81.** $l \approx 2$ м. **6.82.** $g = \dfrac{\pi^2 l}{t^2}\cdot N^2 = 9{,}80$ м/с^2. **6.83.** $g_Л = g_З\left(\dfrac{T_З}{T_Л}\right)^2 = 1{,}62$ м/с^2. **6.84.** $m = \dfrac{kl}{g} = 0{,}8$ кг. **6.85.** $T = \sqrt{T_2^2 + T_1^2} = 5$ с. **6.86.** $l = \dfrac{2T^2g}{\pi^2(3 + 2\sqrt{2})} = 2$ м. **6.87.** 9 раз, считая начальный момент. **6.88.** $t_1 = \sqrt{\dfrac{2l}{g}} = 1{,}41\sqrt{\dfrac{l}{g}}$; $t_2 = \dfrac{\pi}{2}\cdot\sqrt{\dfrac{l}{g}} =$ $= 1{,}57\sqrt{\dfrac{l}{g}}$; $t_1 < t_2$. **6.89.** $l_1 = l_2\cdot\dfrac{N_2^2}{N_1^2} = 1$ м. **6.90.** $\Delta t = t\left(1 - \dfrac{g_п}{g_э}\right) \approx 220$ с. **6.91.** Укоротить на $\Delta l = 0{,}08l_0$. **6.92.** $\Delta l = 0{,}0005l_0$. **6.93.** $h = R(n - 1)$; период увеличивается. **6.94.** $\Delta t = t\dfrac{h}{R} = 70$ с. **6.95.** $h = R\left[1 - \left(\dfrac{R}{R + H}\right)^2\right]$. **6.96.** $l =$ $= \left(\dfrac{t}{2\pi N}\right)^2\cdot\dfrac{g_З}{2} = 49{,}6$ м. **6.97.** $R_1 \approx 2\dfrac{\eta}{1 - \eta}R\dfrac{\rho_З}{\rho - \rho_З} = 40$ км. **6.98.** $\dfrac{T_п}{T_З} =$ $= \dfrac{R_п}{R_З}\cdot\sqrt{\dfrac{M_З}{M_п}} = \dfrac{1}{5}$. **6.99.** Не будет. **6.100.** $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g - a}} = 2{,}1$ с. **6.101.** $N =$ $= \dfrac{t_1\sqrt{g + a_1} + t_2\sqrt{g - a_2}}{2\pi\sqrt{l}}$. **6.102.** $N_{1пр} = \dfrac{1}{T}\cdot\sqrt{\dfrac{h}{5g}} = 32$; $N_{2пр} = N_{1пр} + \dfrac{1}{T}\times$ $\times\sqrt{\dfrac{20h}{g}} = 351$; $N_{1м} = N_{2м} = \dfrac{1}{T}\sqrt{\dfrac{22h}{10g}} = 106$. **6.103.** $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l}{\sqrt{g^2 + a^2}}} =$ $= 1{,}85$ с; $\alpha = \operatorname{arctg}\dfrac{a}{g} = 31°$. **6.104.** $T_1 = \dfrac{T}{\sqrt{\cos\alpha}} = 1{,}1$ с. **6.105.** $T = 2\pi\times$ $\times\sqrt{\dfrac{l}{\sqrt{g^2 + a^2 + 2ga/\sin\varphi}}}$. **6.106.** $T = 4\pi\sqrt{\dfrac{l}{3g}}$. **6.107.** $T = 2\pi\dfrac{1}{\omega}\cdot\sqrt{\dfrac{l}{R + l}}$.

6.108. $t = \frac{\pi}{3} \cdot \sqrt{\frac{l}{g}} = 0{,}33$ с. **6.109.** $\omega = \frac{g\alpha_0}{v}$. **6.110.** $T = \frac{2\pi v_{max}}{a_{max}} = 6$ с.

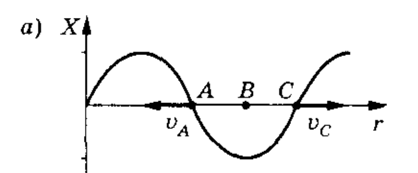
6.111. 7 раз. **6.112.** $T_1 = 0{,}63$ с; $T_2 = 0{,}90$ с; $\frac{E_1}{E_2} = \frac{1}{2}$. **6.113.** $a = \frac{Ag}{2l} = 9{,}8$ см/с^2.

6.114. Энергия возрастает, маятник раскачивается. **6.115.** $\omega = \sqrt{\frac{g}{l} + \frac{2k}{m}} =$ $= 5$ рад/с. **6.116.** $T = 2\pi\sqrt{\frac{l_0}{g}}$, где $l_0 = \frac{M\left(l - \frac{H}{2}\right) + \rho Sh\left(l - \frac{h}{2}\right)}{M + \rho SH}$. **6.117.** $T = 2\pi \times$ $\times \sqrt{\frac{l}{2\mu g}}$. **6.118.** $T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}} \approx 84$ мин, где R — радиус Земли; $t = \frac{T}{2} = 42$ мин.

6.119. $T = 2\pi\sqrt{\frac{m(k_1 + k_2)}{4k_1k_2}} = 0{,}38$ с. **6.120.** $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_1 + 4k_1}} = 0{,}18$ с.

6.121. $M = m\left(\frac{g}{R\omega^2} - 1\right)$. **6.123.** $N = \frac{FA\omega}{2}\sin\varphi$. **6.124.** $v = A\omega l = 0{,}5$ м/с. $T =$ $= T_{max} = m\left(g + \frac{v^2}{l}\right) = 1{,}25$ Н. **6.125.** $A_1 = \sqrt{A^2 + \frac{F^2}{m^2\omega^4} - \frac{2AF}{m\omega^2}\cos\omega t_0}$; при $t_0 = \frac{\pi(2n + 1)}{\omega}$ — наибольшая; при $t_0 = \frac{2\pi n}{\omega}$ — наименьшая, где n — целое число. **6.126.** $v = \frac{l}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} = 20$ м/с. **6.127.** Комар, т. к. он издает более высокий звук. **6.128.** У работающей электродрели меньше частота и ниже высота тона. **6.130.** На частоту. **6.131.** $\lambda = \frac{v}{\nu}$; $\lambda_1 = 17$ м; $\lambda_2 = 1{,}7 \cdot 10^{-4}$ м. **6.132.** $\nu_1 = 79$ Гц; $\nu_2 = 1360$ Гц. **6.133.** $T = 0{,}5$ с; $\nu = 2$ Гц. **6.134.** $v = 2{,}4$ м/с. **6.135.** $v = \frac{\Delta r(n - 1)}{t} = 2{,}4$ м/с. **6.136.** $T = \frac{\Delta r}{v} = 4$ с. **6.137.** $\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta r}{\lambda} = 4\pi$. **6.138.** $\nu = \frac{v}{2\Delta r} = 7250$ Гц. **6.139.** $\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta r}{Tv} = 0{,}4\pi$. **6.140.** $x_r =$ $= \sin 2{,}5\pi\left(t - \frac{r}{v}\right) = 0$; $v_r = 7{,}85$ м/с; $a_r = 0$. **6.141.** Продольную, поперечную.

6.142. $x_2 = \frac{x_1\sin\frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{r_2}{v}\right)}{\sin\frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{r_1}{v}\right)} = 6$ см. $\varphi_2 = \frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{r_2}{v}\right) = 72{,}5\pi$. **6.143.** $\Delta\varphi =$



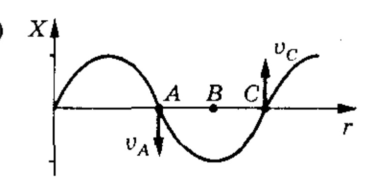


Рис. 47

$= \frac{2\pi}{Tv}(r_2 - r_1) = \pi$. **6.144.** В точке B скорость в обоих случаях равна нулю. См. рис. 47. **6.145.** $\nu_1 = \nu_2$; $\lambda_1 = 2\lambda_2$. **6.146.** $t = 0{,}4$ с. **6.147.** $x = \frac{2lv(v\sin\alpha + \sqrt{u^2 - v^2\cos^2\alpha})}{u^2 - v^2}$. **6.148.** $v_п = \frac{v(\nu_1 - \nu_2)}{\nu_2} = 4{,}3$ м/с. **6.149.** $\lambda = \frac{2\Delta r}{\Delta n} = 0{,}1$ м. **6.150.** $v = \frac{4l\lambda}{2n - 1} = 5{,}45$ м/с. **6.151.** $\nu = \frac{v}{2\Delta r} = 660$ Гц.

7. Динамика твердого тела

7.1. $J = mr^2 = 1{,}2 \cdot 10^{-3}$ кг · м². **7.2.** $J = \frac{ml^2}{2} = 2 \cdot 10^{-4}$ кг · м². **7.3.** а) $J = \frac{l^2}{4} \times (m_1 + m_2) = 1{,}6 \cdot 10^{-3}$ кг · м²; б) $J = \frac{m_1 m_2 l^2}{m_1 + m_2} = 1{,}2 \cdot 10^{-3}$ кг · м². **7.4.** а) $J = ma^2 = 4 \cdot 10^{-4}$ кг · м²; б) $J = \frac{ma^2}{2} = 2 \cdot 10^{-4}$ кг · м². **7.5.** а) $J = mr^2 = 4 \cdot 10^{-3}$ кг · м²; б) $J = \frac{ml^2}{3} = 3 \cdot 10^{-3}$ кг · м²; в) $J = \frac{ml^2}{12} = 7{,}5 \cdot 10^{-4}$ кг · м²; г) $J = \frac{ml^2}{9} = 1 \cdot 10^{-3}$ кг · м². **7.6.** а) $J = 3ml^2$; б) $J = \frac{4}{3}ml^2$; в) $J = ml^2$. **7.7.** а) $J = mR^2 = 4 \cdot 10^{-3}$ кг · м²; б) $J = 2mR^2 = 8 \cdot 10^{-3}$ кг · м². **7.8.** а) $J = \frac{mR^2}{2} = 2 \cdot 10^{-2}$ кг · м²; б) $J = \frac{3}{4}mR^2 = 3 \cdot 10^{-2}$ кг · м². **7.9.** $J = \frac{1}{3}ma^2 = 1{,}2 \cdot 10^{-2}$ кг · м². **7.10.** $J = \frac{2}{5}m_3R_3^2 = 9{,}6 \cdot 10^{37}$ кг · м². **7.11.** $M = \frac{J\omega}{t} = 100$ Н · м. **7.12.** а) $\varepsilon = \frac{2F}{mR} = 8$ рад/с²; б) $t = \frac{\pi m R n}{F} = 78{,}5$ с. **7.13.** $n = \frac{T\Delta t}{\pi m R} = 23{,}4$ об/с. **7.14.** а) $M = \frac{2\pi J n}{\Delta t} = 512{,}87$ Н · м; б) $N = \pi n \Delta t = 3768$ об.

7. Динамика твердого тела

7.15. $\mu = \frac{\pi n m R}{F\Delta t} = 0{,}3$. **7.16.** $a = \frac{2g(m_2 - m_1)}{2m_1 + 2m_2 + m} = 0{,}24$ м/с^2. **7.17.** $a = \frac{m_2 - \mu m_1}{m_1 + m_2 + m}g = 1{,}96$ м/с^2; $T_1 = \frac{m_1 g[m_2(1 + \mu) + \mu m]}{m_1 + m_2 + m} = 0{,}98$ Н; $T_2 = \frac{m_2 g[m_1(1 + \mu) + m]}{m_1 + m_2 + m} = 1{,}18$ Н. **7.18.** $M = \frac{4}{5} mR^2(B + 3ct)$; $M_1 = -0{,}64$ Н·м. **7.19.** $\varepsilon = \frac{3g\sin\alpha}{2l} = 7{,}36$ рад/с^2; $a_\tau = \frac{g\sin\alpha}{2} = 2{,}45$ м/с^2.

7.20. $T = 2\pi\sqrt{\frac{2l}{3g}} = 0{,}43$ с. **7.21.** $T = 2\pi\sqrt{\frac{3R}{2g}} = 0{,}78$ с. **7.22.** $\varphi = \frac{4\pi m}{m_1 + m} = \frac{2}{3}\pi$.

7.23. $n_2 = \frac{(J + mR^2)n_1}{J} = 0{,}4$ рад/с. **7.24.** $\omega = \frac{3m_2 v}{(m_1 + m_2)l} = 7{,}14$ рад/с; $v_1 = \frac{m_2 v}{2(m_1 + m_2)} = 2{,}36$ м/с. **7.25.** $\omega = \frac{2m_2\sqrt{2gh}}{(m_1 + 2m_2)R} = 0{,}04$ рад/с. **7.26.** $\omega = \frac{2m_1 v}{(2m_1 + m)R} = 0{,}45$ рад/с. **7.27.** $E_к = \frac{3mv^2}{4} = 24$ Дж. **7.28.** $E_{к2} = \frac{3}{4}E_{к1} = 30$ Дж. **7.29.** $\eta = \frac{E_{вр}}{E_{пост}} = 0{,}4$; $\eta = 40\%$. **7.30.** $Q = 0{,}7m(v_1^2 - v_2^2) = 25{,}2$ Дж. **7.31.** $A = \frac{1}{4}\pi^2 mn^2 d^2 = 354{,}9$ Дж. **7.32.** $L = \frac{E}{\pi n} = 3{,}82$ кг · м^2/с.

7.33. $s = \frac{v^2 s_0}{g h_0} = 4{,}08$ м. **7.34.** $A = \frac{16}{15}\pi^3\rho R^5 n^2(k^2 - 1) = 34{,}1$ Дж, где ρ — плотность меди. **7.35.** $M = 2CJ = 200$ Н · м, не зависит от времени. $P = 2CJ \times (B + 2ct) = 3200 - 800t$; $P_1 = 800$ Вт. **7.36.** $M = \frac{E_к}{2\pi N} = 1{,}99$ Н · м.

7.37. $E_к = \frac{M^2 t^2}{2J} = 500$ Дж. **7.38.** $E_к = \frac{\varepsilon t_2^2 L}{2t_1} = 490$ Дж. **7.39.** $E_к = \frac{F^2\Delta t^2}{m} = 2$ кДж. **7.40.** а) $\omega = \sqrt{\frac{3g}{l}} = 14$ рад/с; $v_1 = \frac{1}{2}\sqrt{3gl} = 1{,}05$ м/с; б) $\omega = \sqrt{\frac{3g}{l}} = 14$ рад/с; $v_2 = \sqrt{3gl} = 2{,}1$ м/с. **7.41.** $\varphi = \arccos\left(1 - \frac{v^2}{3gl}\right) = 81°22'$. **7.42.** $v = \sqrt{6gl} = 7{,}07$ м/с.

Ответы

8. Гидростатика

8.1. $p = 133{,}3$ Па. **8.2.** $p = 2{,}5 \cdot 10^9$ Па $= 2{,}5 \cdot 10^4$ атм. **8.3.** $p_1 = 5{,}9 \cdot 10^3$ Па; $p_2 = 8{,}7 \cdot 10^5$ Па. **8.4.** Возрастет в 6,7 раза. **8.5.** $\eta = \frac{m_2}{m_1} \cdot 100\% = 8\%$. **8.12.** Давление, создаваемое в одном месте, передается воздухом по всем направлениям. Оболочка не выдерживает и разрывается. **8.14.** Сыпучий материал передает давление по всем направлениям. **8.15.** Создать разность давлений внутри и вне сосуда: 1) соединить трубку с откачивающим насосом; 2) нагнетать воздух в сосуд через трубку; 3) нагревать воздух в сосуде; 4) кипятить воду. **8.18.** $p_A = p_B$. **8.19.** $p = \frac{F}{S}$. **8.20.** Жидкость перестает вытекать. **8.21.** Нет. **8.22.** Нет. **8.23.** $P = F_2 = \frac{S_2}{S_1} \cdot F_1 = 1$ кН. **8.24.** $F = 4$ кН. **8.26.** $F = 400$ Н. **8.27.** $F = 1{,}5$ кН. **8.28.** $F_2 = 8{,}1 \cdot 10^3$ Н. **8.29.** $n = \eta\frac{Nt}{mgh} \cdot \frac{S_2}{S_1} = 120$. **8.30.** $p = p_0 + \rho gh$, при больших h возникает болевое ощущение. **8.31.** Одинаково. **8.32.** Равновесие не нарушится. Давление на дно сосудов не одинаково. **8.33.** В левом. Давление одинаково, т. к. $p = p_0 + \rho gh$, а $h_1 = h_2 = h_3$. **8.34.** Часть воды перельется в сосуд с керосином. **8.35.** 1) Одинаково; 2) уменьшится. **8.36.** Давление увеличится, т. к. повысится уровень воды. **8.37.** Не изменится, т. к. вес куска дерева равен весу вытесненной воды. **8.38.** $p_1 \approx 100{,}8$ кПа; $p_2 \approx 110{,}7$ кПа. **8.39.** $p_1 = p_0 + \rho gh_1 \approx 2{,}55 \cdot 10^6$ Па; $p_2 = p_0 + \rho gh_2 \approx 296$ кПа. **8.40.** $p_1 \approx 1{,}11 \cdot 10^8$ Па; $p_2 \approx 0{,}29 \cdot 10^6$ Па. **8.41.** $h = \frac{(n-1)p_0}{\rho_в g} = 20{,}4$ м. **8.42.** $h \approx 22{,}4$ м. **8.43.** $p = p_0 + \frac{1}{3}gh(\rho_1 + \rho_2 + \rho_3) \approx 1{,}06 \cdot 10^5$ Па. **8.44.** $p = p_0 + \frac{2\rho_в \cdot \rho_{рт} \cdot gh}{\rho_в + \rho_{рт}} = 101{,}83$ кПа. **8.45.** Не отпадет. **8.46.** $p = p_0 + \frac{mg}{S}$. **8.47.** $p = \rho gh \cdot S \approx 353{,}3$ Н. **8.48.** $F = \rho g\frac{h}{2}S = 9{,}8 \cdot 10^6$ Н. **8.49.** $F = \frac{l}{2}\left(p_0 + \rho\frac{gb}{2}\right)\sqrt{4b^2 + (H-h)^2} = 86{,}5$ Н. **8.50.** $F_1 = 2000\sqrt{2}$ Н; $F_2 = 0$. **8.51.** $F = 2\pi r^2 p$. **8.52.** $F = \pi(R^2 - r^2)p$. **8.53.** $\rho = \rho_0\left(1 + 2\left(\frac{S_0}{S}\right)^{\frac{3}{2}} - 3\frac{S_0}{S}\right)$. **8.54.** $F = a^2\left((p_0 + ga)\left(\frac{\rho_в \sin\alpha}{2} + \rho_{ст}\cos\alpha\right)\right) = 1057$ Н. **8.55.** $H = h + \frac{m}{\rho(S_1 - S_2)}$.

8. Гидростатика

8.56. $\frac{p_1}{p} = 2$. **8.57.** Нет. **8.58.** $h = \Delta h \frac{\rho_{рт}}{\rho_в} = 27{,}2$ см. **8.59.** $\Delta h = \frac{m}{S} \cdot \frac{\rho_в - \rho_м}{\rho_в \rho_м} = 4$ см. **8.60.** $h_к = \frac{\rho_в}{\rho_к} h_в = 0{,}85$ м. **8.61.** $\rho_к = \rho_{рт} \frac{\Delta h}{h_к} = 0{,}8 \cdot 10^3$ кг/м^3 = 0,27 м. **8.62.** $h_к = \frac{\rho_в h_в + \rho_{рт} \Delta h}{\rho_к} = 33{,}5$ см. **8.63.** $H = \frac{\rho_{рт} - \rho_к}{\rho_в - \rho_к} h = 1{,}6$ м. **8.64.** В первой трубке уровень повысится, а во второй понизится на $\Delta h = \frac{m_2 - m_1}{\rho S}$. **8.65.** В сосуде 1 уровень понизится на $\Delta h_1 = \frac{\Delta \rho}{\rho g\left(1 + \frac{S_1}{S_2}\right)}$; в сосуде 2 уровень повысится на $\Delta h_2 = \frac{\Delta \rho}{\rho g\left(1 + \frac{S_2}{S_1}\right)}$. **8.66.** $\Delta h = \frac{l}{4\frac{\rho_{рт}}{\rho_в} - 3} = 0{,}58$ см. **8.67.** $H_2 = 2\frac{\rho_в V_1 + \rho_{рт} V_2}{\pi d^2 \rho_{рт}} = 10{,}7$ см; $H_1 = \frac{4(V_1 + V_2)}{\pi d^2} - H_2 = 29{,}1$ см. **8.68.** $\Delta l = \frac{k\rho_2 h}{\rho_1 + \rho_2}$. **8.69.** $\Delta h = \frac{\rho S_1 h}{(\rho_0 - \rho)S}$. **8.78.** Оказывает. **8.79.** $F = p_0 \cdot ab = 72$ кН. **8.80.** $F = 100$ МН сверху, *практически такая же сила действует снизу*. **8.81.** $F \approx 77$ кН. **8.82.** $\frac{a_2}{a_1} = \frac{\rho_1}{\rho_2} = 14{,}2$. **8.83.** $p = 1{,}27 \cdot 10^5$ Па. **8.84.** $h = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_{воз} \cdot g} \approx 52$ м. **8.85.** $p = p_0 - \rho_{воз} \cdot gh \approx 0{,}83 \cdot 10^5$ Па. **8.86.** $H = \frac{\rho_{рт} h_{рт}}{\rho_к} = 12{,}75$ м. **8.87.** Уровень ртути в чашке понизится на $\Delta x = \frac{\rho_0}{\rho g}\left[\frac{1}{\cos\alpha} - 1\right] \cdot \frac{4S}{\pi D^2} = 0{,}42$ см. **8.88.** $p_0 = \frac{\Delta p \cdot \sin\alpha}{1 - \sin\alpha} = 0{,}95 \cdot 10^5$ Па. **8.89.** $T = \frac{\rho g l S_1 S_2}{S_1 - S_2}$. **8.90.** Такое же, как на Земле. **8.91.** Закон Паскаля действует, сила Архимеда — нет. **8.92.** Давление воды на нижнюю часть лодки отсутствует. Сила давления воды на верхнюю часть лодки направлена вниз и вместе с силой тяжести прижимает лодку к грунту. **8.93.** $F_А = \rho g V \approx 10{,}3$ кН. **8.94.** $F = \rho g V$; $F_в = 9{,}8$ мН; $F_к = 7{,}8$ мН. **8.95.** $F_1 = \rho_ж g V = 7{,}6$ Н; $F_2 = (\rho_ж - \rho_в) g V = 5{,}4$ Н. **8.96.** Из того же материала, что и взвешиваемое тело. **8.97.** $F_А = (\rho_т - \rho_в) g V$;

$F_1 = 1{,}67$ Н; $F_2 = 6{,}67$ Н; $F_3 = 7{,}74$ Н; $F_4 = 10{,}1$ Н. **8.98.** $V = \dfrac{P}{g(\rho_ж - \rho_в)} = 60$ см^3. **8.99.** $\rho = \dfrac{\rho_в mg}{k\Delta l} = 2{,}45 \cdot 10^3$ кг/м^3. **8.100.** $S = \Delta F/(\rho g \Delta h) = 10^{-3}$ м^2. **8.101.** $\rho_п = \dfrac{m_п \rho_в}{m_п + m_ж - \dfrac{\rho_в}{\rho_ж} m_ж - \dfrac{P}{g}} = 0{,}24 \cdot 10^3$ кг/м^3. **8.102.** $m_с = \dfrac{P_1\rho_в - (P_1 - P_2)\rho_м}{g\rho_в} \cdot \dfrac{\rho_с}{\rho_с - \rho_м} = 0{,}184$ кг; $m_м = \dfrac{P_1}{g} - m_с = 66$ г. **8.103.** $\eta = \dfrac{\rho_з}{\rho_з - \rho_с}\left(1 - \dfrac{\rho_с}{\rho_в}\dfrac{p_1 - p_2}{p_1}\right)$. **8.104.** $\mu_ж = 2\rho\left(1 - \dfrac{P_1}{P_0}\right)$. **8.105.** $\rho_д = \dfrac{50P_1}{Vg} - 49\rho$.

8.106. Глубины погружения одинаковы. **8.107.** $\dfrac{V_{погр}}{V} = \dfrac{1}{n}$. **8.108.** $h = 2\dfrac{h_1h_2}{h_1 + h_2}$. **8.109.** $m = 7500$ кг. **8.110.** $M = \rho_в h_0 Hl - m = 40$ т. **8.111.** $S = \dfrac{m}{\rho_в h_1 - \rho_л h} = 5$ м^2. **8.112.** $V = \dfrac{m}{\rho_с}\left(\dfrac{\rho_в}{\rho_п} - 1\right) = 1{,}9 \cdot 10^{-3}$ м^3. **8.113.** $\rho_т = \rho_в \cdot \dfrac{h}{a} = 250$ кг/м^3; $\rho_к = \rho_в \cdot \dfrac{\Delta h a^2}{V_к} = 2 \cdot 10^3$ кг/м^3. **8.114.** $V_{пол} = \dfrac{\frac{4}{9}\pi R^3(3\rho_{св} + \rho_{рт})}{\rho_{св}} = 67{,}7$ см^3. **8.115.** $p = p_0 + p'$; $p' = 6\rho_{ст} gl = 1834$ Па. **8.116.** $\rho_1 = \rho_2 - \dfrac{(\rho_2 - \rho)}{\eta} = 900$ кг/м^3. **8.117.** $\eta = \dfrac{\rho_р - 2\rho_в}{2(\rho_р - \rho_в)} = \dfrac{1}{4}$. **8.118.** Кубик будет плавать полностью погруженным в масло. **8.119.** Уровень воды понизится. **8.120.** Не изменится; а) понизится; б) повысится. **8.121.** $m_с = h\dfrac{\pi D^2}{4} \cdot \dfrac{\rho_в \rho_с}{\rho_с - \rho_в} = 4{,}1$ кг.

8.122. Уровень воды в сосудах увеличится примерно на $\Delta h = \dfrac{m}{\pi\rho(R_1^2 + R_2^2)}$.

8.123. $\Delta h = \dfrac{V + \dfrac{m}{\rho_в}}{S} \cdot \dfrac{\rho_в}{2\rho_{рт}} = 3{,}7$ см. **8.124.** $F_1 = mg + \rho_0 V_д$ (вне воды); $F_2 = mg(1 - \dfrac{P_0}{P})$ (в воде). **8.125.** $\rho = \dfrac{3}{4}\rho_в = 750$ кг/м^3. **8.126.** $T = \dfrac{(n - 2)\rho g V}{2(n + 1)} =$

$= 1{,}2 \cdot 10^{-2}$ Н. **8.128.** $v \sim r^{3-n}$ — $\begin{cases} n = 1 & v \sim r^2, \\ n = 2 & v \sim r, \\ n = 3 & \text{зависимость } v \text{ от } r \text{ исчезает.} \end{cases}$

8.129. $v = \dfrac{v_0\rho_ж}{(\rho - \rho_ж)}$. **8.130.** $x = a\dfrac{d_2^2 + 2d_3^2}{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2}$ от левого конца палки.

8.131. $\rho = \dfrac{3}{4}\rho_0 = 750$ кг/м^3. **8.132.** $\alpha = \arccos\left[\dfrac{h}{l}\sqrt{\dfrac{(\rho_1 - \rho_2)}{(\rho - \rho_2)}}\right]$. **8.133.** $m =$ $= m_1\dfrac{(\rho_1 - \rho_0)\rho}{(\rho - \rho_0)\rho_1}$. **8.134.** $\Delta l = \dfrac{l\rho_0(\rho_2 - \rho_1)}{[(\rho_1 + \rho_2)(\rho_1 + \rho_2 - 2\rho_0)]}$. **8.135.** $\Delta l =$ $= \dfrac{l\rho_0(\rho_2 - \rho_1)}{[2\rho_1\rho_2 - (\rho_1 + \rho_2)\rho_0]}$. **8.136.** $x = \dfrac{(\rho_2 - \rho)r_2^3(l + r_1 + r_2)}{(\rho_1 - \rho)r_1^3 + (\rho_2 - \rho)r_2^3}$, где x — расстояние по стержню от центра первого шара. **8.137.** $A = gVh(\rho - \rho_в) = 9{,}8$ Дж; размерами тела пренебрегаем по сравнению с глубиной погружения. **8.138.** $A = \dfrac{4}{3}\pi r^3 g(h(\rho_{ст} - \rho_в) + \rho_{ст}H) = 11{,}8$ Дж. **8.139.** $h = \dfrac{\rho_0}{\rho - \rho_0}H$.

8.140. $\Delta h = h_2 - h_1 < 0$ (погружение). $E_п = Vg\Delta h(\rho - \rho_0)$. Для $\rho < \rho_0$ $E_п > 0$, энергия увеличивается. Для $\rho > \rho_0$ $E_п < 0$ энергия уменьшается. **8.141.** $Q =$ $= V(\rho_c - \rho_в)gh = 0{,}0165$ Дж. **8.142.** $F_c = mg\left(\dfrac{\rho_в}{\rho} - 1 - \dfrac{h}{H}\right) = 3{,}43$ Н. **8.143.** $\alpha =$ $= 2g\sqrt[3]{\dfrac{2V}{9\pi}}\left[\rho\left(1 + \dfrac{h}{L}\right) - \rho_0\right]$. **8.144.** $A = \dfrac{mgh}{4}$. **8.145.** $A = \dfrac{g(\rho_{рт} - \rho_{ст})^2}{2\rho_{рт}} \cdot V^{4/3} =$ $= 1{,}9$ мДж. **8.146.** 1) $A = \dfrac{a^4g}{2} \cdot \dfrac{(\rho - \rho_0)^2}{\rho_0}$; 2) $A = \dfrac{a^4g}{2} \cdot \dfrac{\rho^2}{\rho_0}$. **8.147.** $A =$ $= mg\dfrac{\rho_в - \rho_п}{\rho_п}\left[(H - 2h) + \dfrac{h}{2} \cdot \dfrac{\rho_в - \rho_п}{\rho_в}\right] = 0{,}53$ Дж. **8.148.** $A = \dfrac{kh^2}{2} - \rho_м Sh^2 g +$ $+ \rho_в S\dfrac{h^2}{2}g$. **8.149.** $a = \left[\dfrac{2A(\rho_в - \rho_к)}{g(\rho_в - \rho_п)^2}\right]^{1/4} = 0{,}1$ м. **8.150.** $\rho = \dfrac{\rho_1 d_1 + \rho_2 d_2}{d_1 + d_2}$.

8.151. $F = Mg - \rho Va$. **8.152.** Не изменится. **8.153.** Пробка неподвижна относительно стенок сосуда. **8.153.** $\rho = \rho_0\left(1 + 2\left(\dfrac{S_0}{S}\right)^{3/2} - 3\dfrac{S_0}{S}\right)$. **8.154.** $p = p_0 +$ $+ \dfrac{m}{S}\left(g + \dfrac{v - v_0}{t}\right)$. **8.155.** $a = g \cdot \mathrm{tg}\,\alpha$. **8.156.** $a = 2\dfrac{H - h}{l}g$. **8.157.** $F =$

Ответы

$= \left(m + \frac{blS}{2L}\rho\right)\frac{b}{l}g$. **8.158.** $p = p_0 + \rho gl$. **8.159.** $\beta = \operatorname{arctg}\mu$. **8.160.** $\mu = \frac{\rho s v^2}{mg \cdot \cos\alpha}$.

8.161. $h = \frac{\omega^2}{2g}r^2$. **8.162.** $\alpha = \operatorname{arctg}\frac{4\pi^2 n^2}{g}r \approx 40°$. **8.163.** Разность давлений сообщает каждой частице объема необходимое центростремительное ускорение. **8.164.** $\omega = \sqrt{\frac{g \cdot \operatorname{tg}\alpha}{R - (l + r)\sin\alpha}}$. **8.165.** а) Сможет; б) $\rho = \rho_в \times \times \left(1 - \frac{l}{2R - 2H - a + L}\right)\left(1 - \frac{a}{L}\right)$. **8.166.** В право, на расстояние $x = = \frac{m_1 l}{(M + m + m_1)}$. **8.167.** $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{\rho g S}}$; $l = \frac{m}{\rho S}$. **8.168.** $m_{гр} = \frac{g\rho S}{4\pi^2}(T_2^2 - T_1^2) = = 9{,}1 \cdot 10^5$ кг. **8.169.** $T = \pi\sqrt{\frac{2l}{g}}$. **8.170.** $T = 2\pi\sqrt{\frac{\rho_ш}{\alpha g}}$. **8.171.** $v = \sqrt{\frac{P}{2\rho}} = 8{,}8$ м/с.

8.172. $v = \sqrt{(\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2)g}$. **8.173.** $v_2 = \eta^2 v_1 = 0{,}45$ м/с. **8.174.** $h = \frac{v^2}{2g} \approx 1{,}3$ м.

8.175. $v_2 = \sqrt{v_1^2 + \frac{2\Delta P}{\rho}} = 4{,}33$ м/с. **8.176.** $Q = S\sqrt{\frac{2g\Delta h\rho_0}{\rho}}$. **8.177.** $Q = S_1 S_2 \times \times \sqrt{\frac{2g\Delta h}{(S_1^2 - S_2^2)}}$. **8.178.** $v = \sqrt{\frac{2FS_1}{\rho(S_1^2 - S_2^2)}}$. **8.179.** $t = l\sqrt{\frac{\rho S_1}{2F}\frac{S_1^2 - S_2^2}{S_2^2}} \approx l\frac{S_1}{S_2}\sqrt{\frac{\rho S_1}{2F}}$.

8.180. $\frac{S_2}{S_1} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{2gh}{v_0^2}}}$. **8.181.** $h = \frac{v^2}{2g}\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$. **8.182.** $h = \frac{1}{2g}\left(v^2 - \left(\frac{mg}{2\rho NSv}\right)^2\right)$.

8.183. $\alpha = \arccos\frac{S_1}{S_2}$; $h = \frac{v_0^2}{2g}\left[1 - \left[\frac{S_1}{S_2}\right]^2\right]$. **8.184.** $A = \rho S\frac{h}{2}\left[\left(v\frac{S}{S_0}\right)^2 - gh\right]$.

8.185. $\mu \leqslant \frac{2\rho ghS}{P}$. **8.186.** $l = 2\sqrt{h(H - h)} = 0{,}6$ м; $h_{max} = \frac{H}{2} = 0{,}5$ м.

8.187. $x = \frac{\left(\frac{V}{2S}\right)^2 - \left(\frac{gHS}{V}\right)^2}{g} = 1{,}2$ м; $y = \frac{-\left[\frac{V}{2S} - \frac{gHS}{V}\right]^2}{2g} = -0{,}4$ м. **8.188.** $S_2 = = S_1\sqrt{\frac{h_1}{(h_1 + h_2)}}$. **8.189.** $v = -k\frac{\rho ghS}{S_1}$.

9. Молекулярно-кинетическая теория. Уравнение состояния

9.1. $d = 0{,}0000025$ мм. **9.2.** $d = 0{,}0000001$ мм. **9.3.** Нельзя. **9.4.** Молекулы спирта и воды взаимно проникают в имеющиеся между ними промежутки. Кроме того, они вступают в химические соединения. Поэтому объем смеси воды и спирта меньше, чем сумма первоначальных объемов. **9.5.** В вакууме молекула движется по прямой. В воздухе из-за столкновения с другими молекулами — зигзагообразно с изменяющейся скоростью. **9.6.** В 10 000 раз. **9.7.** $\nu = \frac{m}{M} = 93{,}75$ моля. **9.8.** $\nu = \frac{N}{N_A} = 900$ молей. **9.9.** $m = M\nu = 5{,}6$ кг. **9.10.** $N = \frac{m}{M}N_A = 3{,}3 \cdot 10^{12}$. **9.11.** $N = \frac{m}{M}N_A = 3{,}01 \cdot 10^{24}$. **9.12.** $\Delta n = \frac{m}{M} \cdot \frac{N_A}{t} = 3{,}8 \cdot 10^{18}$ с$^{-1}$. **9.13.** $m_0 = \frac{M}{N_A} = 3{,}0 \cdot 10^{-26}$ кг; $R = \frac{1}{2}\left(\frac{M}{\rho N_A}\right)^{\frac{1}{3}} = 3{,}3 \cdot 10^{-9}$ м. **9.14.** $N = N_A\frac{m}{M} = 1{,}37 \cdot 10^{24}$ молекул; $m_0 \approx 7{,}3 \cdot 10^{-26}$ кг; $n = N_A\frac{\rho}{M} = 2{,}7 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$. **9.15.** $n_0 = N_A\frac{\rho}{M} = 2{,}5 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$. **9.16.** $\rho = \frac{2M}{V} = 0{,}1$ кг/м^3. **9.17.** $\nu = \frac{2m}{3M_0} + \frac{m}{3M_0} = 2$ моля. **9.18.** $l = \left[\frac{M}{\rho N_A}\right]^{\frac{1}{3}} = 2{,}3 \cdot 10^{-10}$ м. **9.19.** $\eta = \frac{\pi d^3 N_A}{\sigma V_M} = 4 \cdot 10^{-4}$; $l = \left[\frac{V_M}{N_A}\right]^{\frac{1}{3}} \approx 3{,}3 \cdot 10^{-9}$ м. **9.20.** $M = \rho V\frac{N_A}{N} = 2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; H_2 — молекулярный водород. **9.21.** $\frac{N_в}{N} = \frac{N_A}{N} \cdot \frac{\rho V}{M} = 1{,}86 \cdot 10^{19}$. **9.22.** $m = \frac{\rho V}{N_1} \cdot \frac{M_{CO_2}}{M_{H_2O}} = 2{,}2$ мг. **9.23.** $N_{меч} = N_A\frac{V_1\rho}{V_2^2 M} = 1$ молекула. **9.24.** $\frac{N_в}{N_{рт}} = \frac{\rho_в M_{рт}}{\rho_{рт} M_в} = 0{,}82$; Молекул больше в стакане ртути. **9.25.** $p = nkT = 5 \cdot 10^{-9}$ Па. **9.26.** $n = \frac{p}{kT} = 2{,}5 \cdot 10^{10}$ см$^{-3}$. **9.27.** $n = \frac{p}{kT} = 3 \cdot 10^4$ см$^{-3}$. **9.28.** $N = \frac{pV}{kT} = 3 \cdot 10^{21}$. **9.29.** $N \approx N_A \cdot \frac{p_0}{M} \cdot \frac{4\pi R^2}{g} \approx 10^{44}$ молекул. **9.30.** $l \approx$

Ответы

$\approx \sqrt[3]{\frac{kT}{p}} = 3{,}35 \cdot 10^{-9}$ м. **9.31.** $l = l_0 \sqrt[3]{\frac{T}{T_0}} \approx 1{,}6 l_0$. **9.32.** $p = \frac{1}{3} n \frac{M}{N_A} v^2 =$ $= 76$ кПа. **9.33.** $n = \frac{p}{kT} = 2{,}69 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$; $V = \frac{R}{p} T = 2{,}24 \cdot 10^{-2}$ м^3. **9.34.** $N_{He} = N_{O_2}$; $T = \frac{pV}{Nk} = 234$ К. **9.35.** $N = \frac{p}{kT} \cdot Svt = 1{,}98 \cdot 10^{20}$. **9.36.** $p =$ $= \frac{\rho kT}{m_0} \approx 3{,}1 \cdot 10^5$ Па; $M = m_0 N_A = 44 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; CO_2 — углекислый газ. **9.37.** $N = \frac{pV}{kT} = 10^{22}$. **9.38.** $E_к = \frac{3p}{2n} = 0{,}6 \cdot 10^{-20}$ Дж. **9.39.** $n = \frac{3p}{2E_к} =$ $= 4{,}9 \cdot 10^{16}$ м$^{-3}$. **9.40.** $T = \frac{2E_к}{3k} = 966$ К. **9.41.** Увеличится в 1,5 раза. **9.42.** Уменьшится на $\Delta E = E_{k1}\frac{n-1}{n} = 5{,}25 \cdot 10^{-21}$ Дж. **9.43.** $\Delta T = T_1 \cdot \frac{n-1}{n} =$ $= 66{,}7$ К. **9.44.** Уменьшится в 1,43 раза. **9.45.** $E_к = \frac{3}{2} kTN = 6{,}62 \cdot 10^{-16}$ Дж. **9.46.** $N = \frac{2E_к}{3kT} = 1{,}6 \cdot 10^{21}$. **9.47.** $E_к = \frac{3pV}{2\nu N_A} = 4{,}2 \cdot 10^{-15}$ Дж. **9.48.** $E_к =$ $= \frac{3}{2} pV = 2$ Дж. **9.49.** $T = \frac{2}{3} \cdot \frac{M}{R} \cdot \frac{GM}{r_3} \approx 10^3$ К. **9.50.** $\frac{p_1}{p_2} = \frac{E_{к_1}}{E_{к_2}} \cdot \frac{V_2}{V_1} = 6$. **9.51.** $v_1 = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = 480$ м/с; $T_2 = \frac{v_2^2 M}{3R} = 310$ К. **9.52.** $E_к = \frac{3}{2} kT =$ $= 0{,}621 \cdot 10^{-20}$ Дж; $v = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = 1$ м/с. **9.53.** $T = \frac{4}{3} \cdot \frac{\pi r^3 \rho v^2}{3k} \approx 290$ К, ρ — плотность воды. **9.54.** $p = \sqrt{\frac{3kTM}{N_A}} = 2{,}4 \cdot 10^{-23}$ кгм/с. **9.55.** $T = \left[\frac{\Delta p}{2\sin\alpha}\right]^2 \times$ $\times \frac{N_A}{12kM} \approx 291$ К. **9.56.** $\frac{v_в}{v_п} = \sqrt{\frac{N_A m}{M}} = 6 \cdot 10^6$. **9.57.** $v_{N_2} = v_{O_2} \cdot \frac{M_{O_2}}{M_{N_2}} = 492$ м/с. **9.58.** $N = N_A \cdot \frac{mv^2}{3RT} = 1{,}88 \cdot 10^{25}$. **9.59.** $T_3 - T_2 = \Delta T \frac{v_3^2 - v_2^2}{v_2^2 - v_1^2} = 183$ К. **9.60.** 1) Охладить He на $\Delta T = T\left(1 - \frac{M_1}{M_2}\right) = 263$ К; 2) O_2 нагреть на $\Delta T =$ $= T\left(\frac{M_2}{M_1} - 1\right) = 2100$ К. **9.61.** $v_1 = v\sqrt{5}$; $T_1 = 5T$. **9.62.** $v = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2}{2}} \approx 510$ м/с.

9.63. $\upsilon = \dfrac{\sqrt{\dfrac{8RT}{\pi\mu}}}{1 + \dfrac{mRT}{pVM}} = 0{,}54$ м/с. **9.64.** $\dfrac{\upsilon_2}{\upsilon_1} = \sqrt{\dfrac{p_2}{p_1}} = 4$. **9.65.** $\dfrac{p_{O_2}}{p_{H_2}} = \dfrac{M_{O_2}}{M_{H_2}} = 16$.

9.66. $\dfrac{p_2}{p_1} = \dfrac{V_1}{V_2} = 3$. **9.67.** $\dfrac{\Delta p}{p_1} = 2\eta + \eta^2 = 44\%$. **9.68.** $n = \dfrac{3pN_A}{M\upsilon^2} = 2{,}3 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$.

9.69. $p = \dfrac{N}{V} \cdot \dfrac{\upsilon^2 m_e}{3} = 3$ Па. **9.70.** $\upsilon = \sqrt{\dfrac{3p}{\rho}} = 482$ м/с. **9.71.** $n = \dfrac{\rho\upsilon^2}{3kT} =$ $= 2{,}4 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$. **9.72.** $\Delta\upsilon = 89$ м/с. **9.73.** $p_c = 2p$. **9.74.** $\dfrac{\Delta\upsilon}{\upsilon} = \sqrt{\dfrac{T_2}{T_1}} - 1 = 0{,}48$.

9.75. $\upsilon = \dfrac{2\pi\nu\Delta R}{\Delta\varphi} = 188$ м/с. **9.76.** $s = \dfrac{2\pi\nu R^2}{\upsilon} = 4{,}2$ мм. **9.77.** $T_2 = 4T\left[\dfrac{V_2}{V_1}\right]^2 \approx$ ≈ 485 К; $p_1 = \dfrac{2\nu RT_1}{3V_1} = 3{,}8 \cdot 10^4$ Па; $p_2 = \dfrac{4\nu RT_1V_2}{3V_1^2} = 5 \cdot 10^4$ Па. **9.78.** $\sqrt{\overline{x^2}} =$ $= \sqrt{\dfrac{kTl}{mg}}$. **9.79*.** $T = \dfrac{\Delta\upsilon^2 M}{R(\sqrt{3} - \sqrt{2})^2} = 385$ К; $\upsilon_{ар} = \sqrt{\dfrac{8RT}{\pi M}} = 2 \cdot 10^3$ м/с.

9.80*. $\upsilon_в = 1{,}4 \cdot 10^3$ м/с; $\upsilon_{ар} = 1{,}58 \cdot 10^3$ м/с; $\upsilon_{кв} = 1{,}72 \cdot 10^3$ м/с. **9.81.** $V_2 =$ $= V_1\dfrac{p_1}{p_2} = 5{,}2$ л. **9.82.** Увеличится в 1,5 раза. **9.83.** $p_1 = \dfrac{\Delta pV_2}{V_1 - V_2} = 1{,}2 \cdot 10^4$ Па.

9.84. $\Delta V = \dfrac{n - 1}{n}V_1 = 4 \cdot 10^{-3}$ м^3. **9.85.** $p_1 = \dfrac{n\Delta p}{n - 1} = 7 \cdot 10^5$ Па. **9.86.** $\eta_2 =$ $= \dfrac{\eta_1\Delta V_2}{(1 + \eta_1)\Delta V_1 - \eta_1\Delta V_2} = 0{,}5$. **9.87.** $F = p_1\dfrac{l_1}{l_2}\dfrac{\pi d^2}{4} = 26{,}5$ Н. **9.88.** $m_1 = m \times$ $\times \dfrac{n^2(k - 1)}{k(n - 1)}$. **9.89.** $m = M + \dfrac{p_0S_0}{g}$. **9.90.** $T = \dfrac{pV}{kn(V + \Delta V)} \approx 394$ К. **9.91.** $m =$ $= \rho_в V \cdot \left[1 - \dfrac{p_2}{p_1}\right] = 105$ г. **9.92.** $V = \dfrac{p_2V_2 - p_1V_1}{p_2 - p_1}$. **9.93.** $p_x = (p_0 + ar_1^2) \times$ $\times\left[\dfrac{r_1}{r_1 + \Delta r}\right]^3 - a(r_1 + \Delta r)^2 = 1352$ Па. **9.94.** $V_2 = V_1\dfrac{T_2}{T_1} = 8{,}5$ л. **9.95.** $\dfrac{\rho_2}{\rho_1} = \dfrac{T_2}{T_1} = 3$.

9.96. $V_1 = \Delta V\dfrac{T_1}{T_2 - T_1} = 4 \cdot 10^{-3}$ м^3. **9.97.** $\Delta T = T_1(n - 1) = 1980$ К. **9.98.** $\Delta l =$ $= l\dfrac{\Delta T}{T_1} = 0{,}01$ м. **9.99.** $T_1 = \dfrac{\Delta T}{\alpha} = 350$ К. **9.100.** $V = \dfrac{S(T_1l_2 - T_2l_1)}{T_2 - T_1} = 0{,}1$ л; $T = \dfrac{T_1l_2 - T_2l_1}{l_2 - l_1} + l\,\dfrac{T_2 - T_1}{l_2 - l_1} = 265{,}5 + 25l$. **9.101.** $p_2 = p_1\dfrac{T_2}{T_1} = 65$ кПа.

19 - 1695

Ответы

9.102. $T_2 = T_1\frac{p_2}{p_1} = 350$ К. **9.103.** $T_1 = \frac{\Delta T}{n-1} = 280$ К. **9.104.** $\Delta p = p_1\frac{\Delta T}{T_1} = 0{,}4 \cdot 10^5$ Па. **9.105.** $T_2 = T_1\left(\frac{F}{Sp_1} + 1\right) = 400$ К. **9.106.** $p = p_0\left(\frac{\eta}{\eta + 1}\right)^3 = 324$ мм рт. ст. **9.107.** $p_0 = p\left(\frac{V + V_1}{V}\right)^6 = 750$ мм рт. ст. **9.108.** $n = \frac{\lg\eta}{\lg\left(1 + \frac{V_1}{V}\right)} = 71$. **9.109.** $n = \frac{p_0V_0}{pV} = 20$. **9.110.** $\frac{p_n}{p_0} = 1 + \frac{n\Delta V}{V} = 51$. **9.111.** $n = \frac{V}{\Delta V} \times \left(\frac{p}{p_0} - 1\right)$. **9.112.** $n = \frac{\Delta p}{p_0} \cdot \frac{V}{\Delta V} \cdot \frac{T_1}{T_2} \approx 637$. **9.113.** $T_2 = T_0\frac{p_1V_1}{p_0V_0}$. **9.114.** $p = T_2\frac{p_1V_1}{T_1V_2} = 4 \cdot 10^5$ Па. **9.115.** $T_0 = \frac{\Delta T}{\eta_2 - \eta_1 - \eta_2\eta_1} = 200$ К. **9.116.** $p_1 = \frac{p_0T_1}{T_0(1 + \alpha(T_1 - T_0))}$. **9.117.** $\frac{v}{v_0} = \sqrt{n_1n_2} = 2{,}45$. **9.118.** $\frac{V_1'}{V_2'} = \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{V_1}{V_2} = \frac{4}{3}$.
9.119. $\Delta h = \frac{V' - V_2}{\pi r^2} = 0{,}67$ см, где $V' = \frac{V_1 + V_2}{\left[1 + \frac{V_2}{V_1}\left[1 + \frac{\Delta T}{T}\right]\right]}$. **9.120.** $\frac{V_2}{V_1} = \frac{\sqrt{13} - 1}{5 - \sqrt{13}} \approx 1{,}9$. **9.121.** $T = 2\pi\sqrt{\frac{ml}{2p_0S}}$. **9.122.** $T_1 = \eta T_2 = 300$ К. **9.123.** $p_1 = p_2\sqrt{\eta} = 2 \cdot 10^5$ Па. **9.124.** $T = T_1n^2 = 393$ К. **9.125.** $T_1 > T_2$; $m_1 > m_2$. **9.126.** $p_2 > p_1$.
9.127. $\rho_1 > \rho_2$; $n_1 > n_2$. **9.128.** а) $p_2 < p_1$; $V_1 < V_2$; $T_1 = T_2$; б) $p_2 > p_1$; $V_1 = V_2$; $T_2 > T_1$; в) $p_1 = p_2$; $V_2 > V_1$; $T_2 > T_1$; г) $p_1 > p_2$; $V_2 = V_1$; $T_1 > T_2$. **9.129.** а) $p_2 > p_1$; б) $V_2 > V_1$; в) $T_1 > T_2$. **9.130.** См. рис. 48. **9.131.** $p_0 = \frac{2RT_0}{V_0}$. См. рис. 49.

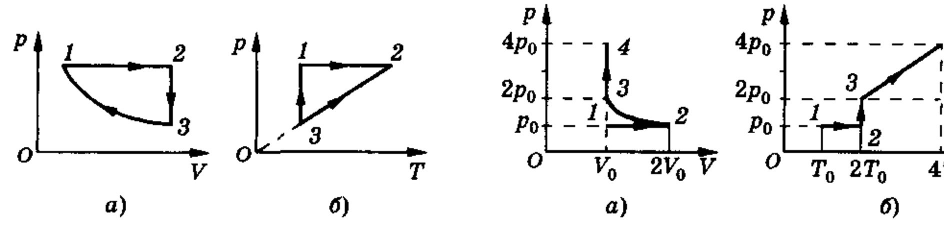


Рис. 48

Рис. 49

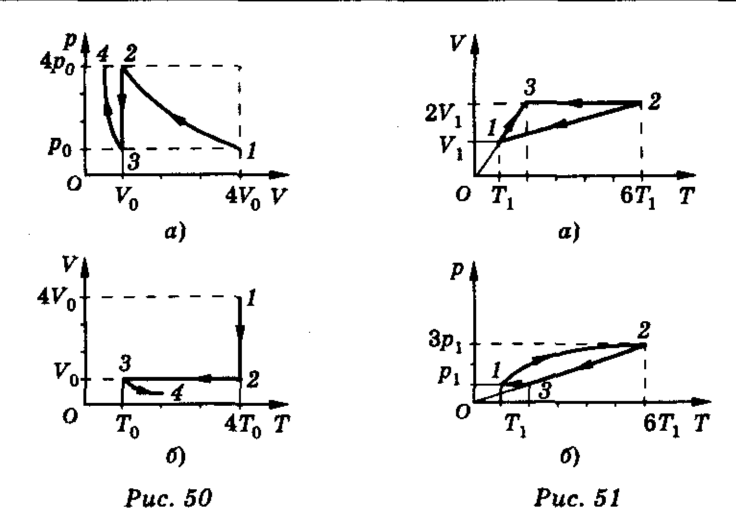


Рис. 50 *Рис. 51*

9.132. $V_0 = \dfrac{RT_0}{\rho_0}$. См. рис. 50. **9.133.** См. рис. 51. **9.134.** $V_3 = \dfrac{V_2^2}{V_1}$. См. рис. 52.

9.135. См. рис. 53. **9.136.** См. рис. 54. **9.137.** $T_2 = T_1\left[\dfrac{V_2}{V_1}\right]^2$. **9.138.** $p = \dfrac{mRT}{MV} =$

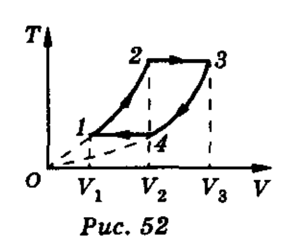


Рис. 52

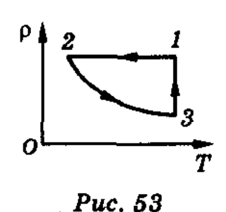


Рис. 53

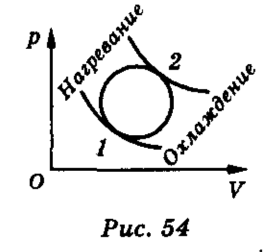


Рис. 54

$= 7{,}79 \cdot 10^4$ Па. **9.139.** $V = \dfrac{\nu RT}{p} \approx 798$ м^3. **9.140.** $V = \dfrac{mRT}{Mp} = 3{,}1 \cdot 10^{-2}$ м^3.

9.141. $n = \dfrac{N_A}{V} = 2{,}7 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$. **9.142.** $T = \dfrac{MpV}{mR} = 276$ К. **9.143.** $m = \dfrac{pVM}{RT} =$

$= 0{,}212$ кг. **9.144.** $M = \dfrac{\rho RT}{p} = 44$ кг/кмоль. **9.145.** $\rho = \dfrac{p\mu}{RT} = 12{,}4$ кг/м^3.

9.147. $T_1 = T_2\dfrac{\mu_1}{\mu_2} = 3200$ К. **9.148.** $M = \dfrac{mRT}{pV} = 16 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; CH_4.

9.149. $M = \dfrac{mRT}{pV} = 44 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; CO_2. **9.150.** $\mu = \dfrac{\rho RT}{p} = 17 \cdot 10^{-3}\ \dfrac{\text{кг}}{\text{моль}}$,

NH_3. **9.151.** $\mu = \dfrac{mRT}{pV} = 116 \cdot 10^{-3}\ \dfrac{\text{кг}}{\text{моль}}$, $n = 2$. **9.152.** $p = \dfrac{\rho_{\text{воды}}RT}{M} =$

Ответы

$= 1{,}4 \cdot 10^8$ Па (при таком давлении газ считать идеальным нельзя).

9.153. $\Delta h = \frac{m_1}{M}\frac{R\Delta T}{(p_0S + mg)} = 0{,}27$ см. **9.154.** $T_0 = \left[\frac{p_0 nd^2}{4} + (m_1 + m_2)g\right] \times \left[\frac{4T}{p_0 nd^2 + 4m_1 g} - \frac{h}{\nu R}\right] = 314$ К. **9.155.** $n = \frac{\nu N_A}{aT_1} = 2{,}15 \cdot 10^{23}$ м$^{-3}$.

9.156. $p(V) = \frac{aM}{mR} \cdot V$. **9.157.** $T = \frac{\sqrt[3]{B^3 D}}{\nu R}$. **9.158.** $m = \frac{pVM(T_2 - T_1)}{RT_1T_2} = 4{,}15$ кг.

9.159. $V = \frac{m}{M} \cdot \frac{RT_2T_1}{p(T_2 - T_1)} = 994$ м^3. **9.160.** $\frac{m}{m_1} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 0{,}17$. **9.161.** $\Delta m = \frac{pVM_{H_2}}{RT} - m\frac{M_{H_2}}{M_{H_2O}} = 0{,}027$ кг. **9.162.** $V = \frac{m}{M} \cdot \frac{RT_2T_1}{p(T_2 - T_1)} = 1{,}12$ л.

9.163. $T_2 = \frac{p_2VMT_1}{p_1VM - mRT_1} = 474$ К. **9.164.** $p_1 = \frac{m_1RT_1}{MV} = 1{,}1 \cdot 10^7$ Па; $p_2 = p_1[1 - \eta]\frac{T_2}{T_1} = 4{,}1 \cdot 10^6$ Па. **9.165.** $\Delta N = n_1V\left[1 - \frac{k_2}{k_1}\right] = 10^{23}$. **9.166.** $\frac{\Delta m}{m} = \frac{\eta_1 - \eta_2}{1 - \eta_2} = \frac{1}{4}$. **9.167.** $\frac{n_0}{n_1} = \frac{m}{m_1} \cdot \frac{T}{T_0} = \frac{b}{a} = 2$. **9.168.** $N_1 = \frac{p_1V}{kT}[1 - n] = 6{,}04 \cdot 10^{21}$. **9.169.** В 2 раза уменьшится. **9.170.** В 2 раза уменьшится.

9.171. $\upsilon = \frac{mRT}{pMtS} = 9$ м/с. **9.172.** $p = \frac{mn_0t}{m_0t_0V} \cdot kT \approx 8$ Па. **9.173.** $t = \frac{pVM}{RT\Delta m} \approx 16$ мин. **9.174.** $t = \frac{pV}{kT\Delta N} \approx 10^7$ лет. **9.175.** $t = 2\eta\frac{V}{S}\sqrt{\frac{M}{RT}} \approx 700$ с. **9.176.** $x = \frac{lM_2}{M_1 + M_2} = 5$ см. **9.177.** При любых температурах, подчиняющихся условию $\frac{T_1}{T_2} = \frac{M_1}{M_2} = 16$. **9.178.** $T_2 = T_1 \cdot \frac{H}{h} + \frac{k(H - h)M}{mR} = 726$ К. **9.179.** $T_{max} = \frac{M(p_2V_1 - p_1V_2)^2}{4mR(p_2 - p_1)(V_1 - V_2)} \approx 484$ К. **9.180*.** $p = \frac{1}{2}\left[\frac{p_1T_2}{T_1} - \Delta p\right] = 10$ кПа ≈ 1 атм. **9.181.** $p = \frac{RT}{V}\left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}\right) = 3{,}8 \cdot 10^4$ Па. **9.182.** $p_1 = p + (p - p_2) \cdot \frac{V_2}{V_1} = 5 \cdot 10^5$ Па. **9.183.** $p = \frac{p_1V_1 + p_2V_2 + p_3V_3}{V_1 + V_2 + V_3} = 2$ атм. **9.184.** $p = \frac{(N_1 + N_2)p_1p_2}{N_1p_2 + N_2p_1}$.

9.185. $p = \dfrac{p_1V_1 + p_2V_2}{V_1 + V_2}$; $T = \dfrac{(p_1V_1 + p_2V_2)T_1T_2}{p_1V_1T_2 + p_2V_2T_1}$. (Задачу следует решать, используя понятие внутренней энергии газа.) **9.186.** $\dfrac{1}{M} = \dfrac{\eta_1}{M_1} + \dfrac{\eta_2}{M_2} + \dfrac{\eta_3}{M_3}$; $M = 29 \cdot 10^{-3}\,\dfrac{\text{кг}}{\text{моль}}$. **9.187.** $\rho = \dfrac{3p}{RT\left(\dfrac{1}{M_1} + \dfrac{1}{M_2} + \dfrac{1}{M_3}\right)} = 0{,}238$ кг/м^3.

9.188. $N = \dfrac{p_0V}{kT_0}\left[1 + \dfrac{1-\eta}{\eta} \cdot \dfrac{M_{O_2}}{M_{N_2}}\right] = 24 \cdot 10^{21}$. **9.189.** $n = \dfrac{N_A}{M_{Ar} - M_{He}} \times \left[\dfrac{pM_{Ar}}{RT} - \rho\right] = 6{,}8 \cdot 10^{18}$ см$^{-3}$. **9.190.** $p_л = p_п + p_2 = 4{,}6 \cdot 10^6$ Па; $p_п = \dfrac{m_1RT}{M_12V} = 3{,}1 \cdot 10^6$ Па; $p_2 = \dfrac{m_2}{M_2} \cdot \dfrac{RT}{V} = 1{,}55 \cdot 10^6$ Па. **9.191.** $\eta = \dfrac{V + \Delta V}{V} = \dfrac{4}{3}$.

9.192. Сдвигается в сторону CO_2 на $x = \dfrac{l}{4}\left[\dfrac{2M_{CO_2} - M_{N_2}}{M_{CO_2} + M_{N_2}}\right] = 0{,}129l$.

9.193. $\dfrac{p}{p_1} = \dfrac{R}{R - 2b} = 2$. **9.194.** $p_2 = p_1\dfrac{M_{H_2}}{M_{H_1}} \cdot \dfrac{T_2}{T_1} = 4 \cdot 10^4$ Па. **9.195.** $\dfrac{p_2}{p_1} = \dfrac{T_2}{T_1} \cdot \dfrac{M_1}{M_2} = \dfrac{3}{4}$; на 25%. **9.196.** $\eta = \dfrac{pVM}{RTm} - 1 = 0{,}28$; 28%. **9.197.** $p_0 = \dfrac{p}{1 + \alpha} = 8{,}3 \cdot 10^4$ Па. **9.198.** $m = \dfrac{pVM}{RT(1 + \eta)} = 0{,}56$ г. **9.199.** $\eta = \left(1 - \dfrac{n}{k}\right) \cdot 100\% = 5\%$.

9.200. $\dfrac{N_N}{N_H} = \dfrac{1}{2}$. **9.201.** $p = 18\dfrac{m}{M_0}RT = 3{,}74 \cdot 10^7$ Па; $\dfrac{p}{p_0} = 18\dfrac{T}{T_0} = 6 \cdot 10^4$.

9.202. $T = \dfrac{Mgh}{R(k - 1)} = 820$ К. **9.203.** $h = \dfrac{p_0(\eta - 1)}{\rho g} = 5$ м. **9.204.** $R_2 = R_1\left[\dfrac{T_2}{T_1} \cdot \dfrac{p_0}{p_0 + \rho gh}\right]^{1/3} = 1{,}8$ см. **9.205.** $p \geqslant \dfrac{3mRT}{4\pi r^3} = 1{,}23 \cdot 10^7$ Па. **9.206.** $m_2 = \dfrac{m_1}{\dfrac{\rho_в RT}{(p_0 + \rho_в gh)M} - 1} \approx 0{,}7$ г. **9.207.** $p = p_0 + g\left(\dfrac{p_0aM}{RT} + 6\rho_{ст}b\right) = 101{,}8$ кПа.

9.208. $V = \dfrac{mRT}{pM} = 14{,}6$ м^3. **9.209*.** $h = h_0\log_2\left[\dfrac{p_0MV}{mRT}\right] = 24{,}3$ км. **9.210.** $p = p_0\dfrac{M_B}{M_{H_2}} - \dfrac{mRT}{VM_{H_2}} = 3{,}2 \cdot 10^5$ Па. **9.211.** $\dfrac{F_{H_2}}{F_{He}} = \dfrac{M_{воз} - M_{H_2}}{M_{воз} - M_{He}} = 1{,}08$.

Ответы

9.212. $F = \frac{pVM}{R}\frac{g(T_1 - T)}{T_1 T}$. **9.213.** $r \geqslant \frac{3\sigma RT}{p(M_{\text{воз}} - M_{\text{He}})} = 0{,}15$ м. **9.214.** $F = mg \times \times \left[\frac{M_{\text{воз}}}{M_{\text{He}}} - 1\right] = 13{,}5\, mg$. **9.215.** $p_0 = \frac{4mg}{(k-1)\pi d^2} = 10^5$ Па. **9.216.** $b \approx (l - h) \times \times \frac{h\rho_{\text{рт}}g}{4p_0} = 0{,}03$ м. **9.217.** $p_0 = \rho_{\text{ст}}gh\frac{l_1 + l_2}{l_2 - l_1} = 720$ мм рт. ст. **9.218.** $h = \frac{l}{2} \times \times \left(1 + \frac{\rho g l}{2p}\right)$. **9.219.** $h \approx 37$ см. **9.220.** $h \approx 12$ см. **9.221.** $\Delta h = \left[\frac{\rho g h_1}{p_0} + 1\right]h_0 = 50$ мм. **9.222.** $x = \frac{p_0 l}{p_0 + \rho g h} - h = 38$ см ниже поверхности ртути. **9.223.** $p_0 = \frac{(p_2 - p_1)(l - p_2) + p_2\Delta h}{\Delta h - (p_2 - p_1)} = 761$ мм рт. ст. **9.224.** $T < \frac{h^2}{4} \cdot \frac{M\rho g S}{m_1 R} = 319$ К. **9.225.** $h = \frac{p_0}{2}\left[\frac{-l}{2p_0} - 1 + \sqrt{1 + \frac{l}{p_0} + \frac{9l^2}{4p_0^2}}\right]$, где давление выражено в мм рт. ст. **9.226.** $h = \frac{-p_0 + \sqrt{p_0^2 + 4p_0\rho g H}}{2\rho g} = 9{,}2$ см. **9.227.** $H = \frac{p_0(3T_2 + T_1)}{\rho g T_1} - \frac{2}{3}h = 15{,}06$ м. **9.228.** $\Delta m = \frac{M\rho_0}{RT_0}(V + Sl)\left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) = 8{,}6$ г. **9.229.** $m_1 = \frac{\Delta m}{1 - \frac{T_1}{T_2}\cdot\frac{p_0 + \rho g a}{p_0 - \rho g b}\cdot\frac{l + a + b}{l}} = 31{,}8$ г. **9.230.** $x = \frac{(p_0 + h_0 + \Delta h + l_0) - \sqrt{(p_0 + h_0 + l_0)^2 + 4\Delta h l_0}}{2} = 10$ мм. **9.231.** $x = \frac{p - p_0}{\rho g} + \frac{m}{\rho(S \cdot \cos\alpha)}$. **9.232.** $\Delta h_2 = 21$ см.

10. Термодинамика

10.19. $\Delta U_{\text{Al}} = -900$ Дж; $\Delta U_{\text{Ag}} = -230$ Дж. **10.21.** $C = \frac{Q}{\Delta t} = 2{,}1$ кДж/кг; $c = \frac{Q}{m\Delta t} = 420$ Дж/(кг · К). **10.22.** $C = \frac{Q}{t_2 - t_1} = 1{,}68 \cdot 10^3$ Дж/К; $c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)} = 2{,}1 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К). **10.23.** $\Delta U = cm(t_2 - t_1) = 45$ кДж.

10.24. $Q = c\rho lbh(t_2 - t_1) = 5 \cdot 10^7$ кДж. **10.25.** $\Delta t = \dfrac{Q}{c\rho V} \approx 0{,}01$ °С. **10.26.** $t_1 = t_2 + \dfrac{Q}{cm} \approx 249$ °С. **10.27.** $c_1 = \dfrac{c_2 m_2 \Delta t_2}{m_1 \Delta t_1} = 880$ Дж/(кг · К). **10.28.** $t = t_0 + \dfrac{Q}{cm}$.

10.29. $\Delta U_1 = \dfrac{Mc\Delta t}{N_A} = 1{,}26 \cdot 10^{-22}$ Дж. **10.30.** $\Delta t = \dfrac{gh}{c} \approx 1{,}96$ °С. **10.31.** $h = \dfrac{c\Delta t}{g} \approx 426$ м. **10.32.** $h = \dfrac{\rho Vc(t_2 - t_1)}{mg} = 4{,}3$ м. **10.33.** $\Delta T = \dfrac{1}{2c}\left[v_0^2 - 2gl \cdot \operatorname{tg}\alpha + \left(\dfrac{gl}{v_0 \cos\alpha}\right)^2\right] = 7{,}7 \cdot 10^{-3}$ К. **10.34.** $n = \dfrac{cm\Delta t}{\eta Mgh} \approx 25$. **10.35.** $\eta = 1 - \dfrac{\rho Vlc\Delta t}{Pt} = 0{,}05$. **10.36.** $v = \dfrac{4\eta N}{nd^2 c\Delta t} = 2{,}7$ м/с. **10.40.** $\Delta U = 1{,}75 \cdot 10^5$ Дж. **10.41.** $n = \dfrac{\lambda}{c\Delta t} = 159$ раз. **10.42.** $m = \dfrac{W}{\lambda} = 1$ г. **10.43.** $Q = m[c_л(t_{пл} - t_1) + \lambda + c_в(t_2 - t_{пл})] \approx 4360$ кДж. **10.44.** $\eta = 1 - \dfrac{2Q}{mv^2} = 0{,}83$. **10.45.** $\dfrac{\Delta m}{m} = \left[\dfrac{\eta}{2}(V_1^2 - V_2^2) - c(T_{пл} - T_1)\right]/\lambda = 0{,}1$. **10.46.** $N = \dfrac{Q}{\Delta t} - \dfrac{m}{\tau}(\lambda + c(t_0 - t_1)) = 286$ Вт. **10.47.** $Q = \lambda\left(m_л - \dfrac{m_д \rho_л}{\rho_в - \rho_л}\right) = 18{,}15 \cdot 10^9$ Дж. **10.48.** $\lambda = \dfrac{cm_1(t_2 - t_1)\tau_2}{\tau_1 m_2} = 3{,}36 \cdot 10^5$ Дж/кг. **10.49.** $\tau_2 = \dfrac{\tau_1[c(t_{пл} - t_2) + \lambda]}{c(t_2 - t_1)} = 54{,}8$ мин. **10.50.** $c_в = \dfrac{\tau_1[c_л(t_2 - t_3) + \lambda]}{\tau_2(t_1 - t_2)} = 4{,}16 \cdot 10^3 \dfrac{Дж}{кг \cdot К}$. **10.56.** $Q = rm = 5{,}63$ МДж.

10.57. $Q = cm_1(t_2 - t_1) + rm_2 = 4{,}78$ МДж. **10.58.** $m = \dfrac{Q}{c(t_к - t) + r} = 0{,}04$ г.

10.59. $v = \sqrt{\dfrac{2}{\eta}[\lambda + c(t_к - t) + r]} = 2079$ м/с ≈ 2 км/с. **10.60.** $\tau = \dfrac{(t_к - t)(c_а M + c_в m_в) + \Delta mr}{\eta N} = 10{,}2$ мин. **10.61.** $\Delta m = \dfrac{1}{r}[\eta N\tau - c_а m t_к - m_л\lambda - c_в(\rho_в V + m_л)t_к] = 78$ г. **10.62.** $r = \dfrac{2\lambda m_2}{\rho V} \cdot \dfrac{(t - t_1)}{(t - t_2)} \cdot \dfrac{\Delta\tau_1}{\Delta\tau_2} = 189$ кДж/кг.

Ответы

10.63. $Q_1 = q_1 m_1 = 9{,}5 \cdot 10^4$ Дж; $Q_2 = q_2 m_2 = 4{,}5 \cdot 10^7$ кДж. **10.64.** $q = \dfrac{Q}{m} = 1{,}5 \cdot 10^7$ Дж/кг. **10.65.** $\Delta Q = m(q_б - q_{др}) = 7{,}2 \cdot 10^4$ кДж. **10.66.** В 3,3 раза. **10.67.** $m = \dfrac{q_б \rho_б V}{q_{уг}} = 6{,}44$ кг. **10.68.** $\Delta t = \dfrac{q m_2}{c m_1} \approx 20$ °C. **10.69.** $\eta = \dfrac{cm(t_2 - t_1) \cdot 100\,\%}{q m_2} = 38{,}7\%$. **10.70.** $N = \dfrac{\eta q m}{t} = 3{,}3$ МВт. **10.71.** $\eta = \dfrac{m_1 c(T_2 - T_1)}{m_2 q} = 0{,}14$. **10.72.** $m = \dfrac{4Fs}{q\eta} = 105$ кг. **10.73.** $s = \dfrac{\eta \rho V q u}{N} = 100$ км. **10.74.** $m = \dfrac{m_л(c_л(t_{пл} - t_1) + \lambda + c_в(t_2 - t_{пл}) + r)}{\eta q} = 0{,}6$ кг. **10.75.** $t = t_0 + \dfrac{\eta^4 q p V_0 M}{c v \pi d^2 \rho R T_0} = 93$ °C. **10.76.** $t_{см} = \dfrac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2} = 227$ °C. **10.77.** $V_к = V\dfrac{t_2 - t_1}{t_к - t_2} = 16{,}5$ л. **10.78.** $m_л = \dfrac{\rho V c(t_1 - t_2)}{c t_2 + \lambda} = 11{,}7$ кг. **10.79.** $c = \dfrac{c_1 m_1 (t - t_1)}{m_2(t_2 - t)} = 2 \cdot 10^3 \dfrac{Дж}{кг \cdot К}$. **10.80.** $C_0 = \dfrac{c[m_2(t_2 - t) - m_1(t_1 - t)]}{(t_1 - t_2)} = 0{,}14$ кДж/К.

10.81. $m_1 = \dfrac{m_2 c_2 (t_0 - t_2) + (m_2 - m_3)\lambda}{c_1(t_1 - t_0)} \approx 214$ г, где $t_0 = 0$ °C. **10.82.** $c = \dfrac{(c_л m_1 + c_в m_2)(t_0 - t_1)}{[m_3(t_2 - t_0)]} = 1{,}75 \cdot 10^3 \dfrac{Дж}{кг \cdot К}$. **10.83.** $t_0 = t_1 + \dfrac{C(t_1 - t_2)}{c_в m_в} = 32{,}5$ °C. **10.84.** $m_{Al} = \dfrac{(t - t_1)(c_{Al} m + c_в m_1) - c_{Cu} m_2 (t_2 - t)}{(c_{Al} - c_{Cu})(t_2 - t)} = 98$ г; $m_{Cu} = m_2 - m_{Al} = 82$ г. **10.85.** $\eta_м = \dfrac{\frac{1}{n} \cdot (c_м + c_в) - c_н}{(c_м - c_н)} \cdot 100\% = 62\%$; $\eta_н = 38\%$.

10.86. $V = \dfrac{V_1 V_2 (t_1 - t_3)}{V_2(t_1 - t_2) - V_1(t_1 - t_3)} = 0{,}143$ л. **10.87.** $V_2 = 106{,}2$ см^3. **10.88.** $V_2 = 30{,}2$ см^3. **10.89.** $t_{1л} = -54$ °C. **10.90.** $t = 100$ °C; $\Delta m = 133$ г. **10.91.** $m_п = \dfrac{m_1 \lambda + c(m_1 + m_2)(t_3 - t_1)}{r + c(t_2 - t_3)} = 2$ кг; $M = 14$ кг. **10.92.** $t_3 = 0$ °C,

$V = \frac{m_1 - m_x}{\rho_в} + \frac{m_2 + m_л}{\rho_л} = 7{,}7 \cdot 10^{-3}$ м^3, где $m_x = \frac{m_1 c_в t_1 + m_2 c_л t_2}{\lambda}$.

10.93. $\frac{\Delta m}{m} = \frac{\lambda}{r + \lambda} = 0{,}57$. **10.94.** $\frac{m_1}{m_2} = \frac{c_2}{c_1}$. **10.95.** $\frac{m_1}{m} = \frac{c(t_0 - t)}{\lambda} = 0{,}125$.

10.96. $\Delta m = \frac{m c_л p}{\lambda \Delta p} \approx 1{,}1$ г. **10.97.** Да. **10.98.** Нет. **10.99.** Да. **10.100.** Да.
10.101. Увеличится. **10.104.** Коэффициенты теплового расширения платины и стекла одинаковы. **10.106.** 12,02 м. **10.107.** 0,55 см. **10.108.** Уменьшится на 0,85 м. **10.109.** $\Delta l = \frac{l\alpha(t_2 - t_1)}{1 + \alpha t_1} = 5$ см. **10.110.** $t = \frac{D - d}{\alpha d} = 182$ °С.

10.111. $\Delta n = \frac{s\alpha(t_1 - t_2)}{\pi d_0(1 + \alpha t_2)(1 + \alpha t_1)} = 24$. **10.112.** $l_{0м} = \frac{l\alpha_ж}{\alpha_м - \alpha_ж} \approx 1{,}8\, l$;

$l_{0ж} = l + l_{0м} = 2{,}8\, l$. **10.113.** $p = E\alpha t = 48$ МПа. **10.114.** $\Delta d_1 = \frac{d_1\alpha(t - t_0)}{1 + \alpha t_0} =$

$= 38$ мкм; следует, т. к. $\Delta d_1 > \Delta d$. **10.115.** Отстают на $\Delta\tau \approx t\left(\sqrt{1 + \alpha\Delta t} - 1\right) \approx$

≈ 8 с. **10.116.** $R = \frac{h(2 + \Delta T(\alpha_2 + \alpha_1))}{2\Delta T(\alpha_2 - \alpha_1)} = 20$ см. **10.117.** $S_2 = \frac{S_1(1 + 2\alpha t_2)}{1 + 2\alpha t_1} =$

$= 120{,}46$ см^2. **10.118.** $\Delta t = \frac{V - V_0}{V_0\beta} = 25°$. **10.119.** $t = \frac{\Delta h}{\beta(h - \Delta h)} = 34{,}5$ °С.

10.120. $Q = \frac{c\rho\Delta V}{3\alpha} = 162{,}7$ кДж. **10.121.** $\eta = \frac{\beta_0}{\beta} = \frac{3}{8} = 0{,}375$. **10.122.** $\Delta T =$

$= mg\frac{\rho_к}{\rho_{ст}} \cdot \left[\frac{1 + 3\alpha_{ст}t_1}{1 + \beta_к t_1} - \frac{1 + 3\alpha_{ст}t_2}{1 + \beta_к t_2}\right] = 28 \cdot 10^{-3}$ Н. **10.123.** $\beta_0 =$

$= \frac{P_2(1 + \beta t_1) - P_1(1 + \beta t_2)}{P_1 t_1(1 + \beta t_2) - P_2 t_2(1 + \beta t_1)}$. **10.124.** $\beta = \frac{m_0 - m}{mt} = 1{,}1 \cdot 10^{-1}$ К$^{-1}$.
10.125. Объем не изменится, длина увеличится, если более холодный брусок имеет меньшую площадь сечения, параллельную площади соприкосновения. **10.126.** Если первый сосуд имеет расширяющуюся кверху форму, то уровень жидкости во втором сосуде понижается, и наоборот. При цилиндрической форме сосудов уровни неизменны. **10.127.** $U = 37{,}4$ кДж.
10.128. $\nu = \frac{2U}{3RT} = 4$ моля. **10.129.** $U = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT = 4{,}7 \cdot 10^5$ Дж. **10.130.** $T =$

$= \frac{2U}{3\nu R} = 600$ К. **10.131.** $U = \frac{3}{2}h(p_0 S + mg)$. **10.132.** $U = \frac{3}{2}pV = 1{,}5$ кДж.

Ответы

10.133. $p = \frac{2U}{3V} = 10^5$ Па. **10.134.** $U_2 = U_1 = \frac{3}{2}p_1V_1 = 1{,}5$ кДж. **10.135.** $U = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1) = 1{,}25$ кДж. **10.136.** $\alpha = \frac{\Delta T \cdot 100\%}{T} = 9{,}9\%$. **10.137.** $V_2 = V_1 = \frac{\nu RT_1}{p_1} = 3{,}3$ м^3; $T_2 = T_1 + \frac{2\Delta U}{3\nu R} = 300$ К; $p_2 = \frac{p_1}{T_1} \cdot T_2 = 0{,}75 \cdot 10^6$ Па. **10.138.** а) Увеличивается; б) уменьшается; в) не изменяется. **10.139.** $\Delta m = \frac{pVM}{R}\left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 \cdot T_2}\right) = 15{,}3$ кг уменьшится; $\Delta U = 0$. **10.140.** $n = \frac{2U}{3kTV} = 2{,}4 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$. **10.141.** Нет. **10.142.** $\Delta U = 5{,}25p_0V_0 = 1{,}05$ кДж. **10.143.** $\Delta U = \frac{3}{4}p_0V_0 = 150$ Дж. **10.144.** $p_0 = \frac{\Delta U}{V_0} = 1{,}5 \cdot 10^5$ Па. **10.145.** $U = \frac{3}{2}R \times \left[\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}\right]T = 2{,}1 \cdot 10^4$ Дж. **10.146.** $\Delta U = \frac{3}{2}R\left[\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}\right]\Delta T = 6{,}2 \cdot 10^2$ Дж. **10.147.** $\Delta U = \frac{3}{2}R\nu T_0(2^{1-n} - 1)$. $n = 0$; $p = \text{const}$; $\Delta U = \frac{3}{2}R\nu T_0 = 3{,}7$ кДж. $n = 1$; $T = \text{const}$; $\Delta U = 0$; $n = 2$; $\Delta U = -\frac{3}{4}R\nu T_0 = -1{,}9$ кДж. **10.148.** $\frac{U_2}{U_1} = \frac{k}{n} = 1{,}4$. **10.149.** $T = \frac{\Delta U}{12\nu R} = 100$ К. **10.150.** $v_1 = \sqrt{\frac{3p_0V_0m_2}{m_1(m_1 + m_2)}}$; $v_2 = \sqrt{\frac{3p_0V_0m_1}{m_2(m_1 + m_2)}}$. **10.151.** $\Delta T = \frac{MV^2}{3R} = 1{,}6$ К. **10.152.** $T = T_0\left(1 + \frac{mv^2}{3p_0V_0}\right)$. **10.153.** $T_1 = \frac{7}{6}T$; $p_1 = \frac{7}{12}p$. **10.154.** $U_{He} = \frac{3}{5}U_{H_2}$. **10.155.** $A = p(V_2 - V_1) = 180$ Дж. **10.156.** $A = (p_0s + mg)h \approx 217$ Дж. **10.157.** $A = \nu R\Delta T = 8{,}31$ Дж. **10.158.** $A = \frac{m}{M}R\Delta T = 1662$ Дж. **10.159.** $m = \frac{MA}{R(T_2 - T_1)} = 0{,}23$ г. **10.160.** $A = \frac{m}{M}RT_0\left(\frac{\eta - 1}{\eta}\right) = 10$ кДж. **10.161.** $T_2 = T_1 + \frac{A}{\nu R} = 400$ К; $V_2 = V_1\frac{T_2}{T_1} = 4$ м^3; $p_1 = p_2 = \frac{\nu RT}{V_1} = 831$ кПа. **10.162.** $A = pV\left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right) = 100$ Дж. **10.163.** $A = (p_0S + p)h\frac{\Delta t}{T} = 10{,}3$ Дж. **10.164.** $\Delta T = -\frac{AT}{pV} = -9{,}5$ К. **10.165.** $N = \frac{A}{k(T_2 - T_1)} = 6 \cdot 10^{24}$. **10.166.** $A = \nu RT_1 = 5$ кДж. **10.167.** $\frac{A_{H_2}}{A_{O_2}} = 16$.

10.168. $A = \frac{m}{M}RT\left(1-\frac{1}{n}\right) = 1{,}66 \cdot 10^6$ Дж. **10.169.** $A = -400$ кДж. **10.170.** $A = A_{2,3} = \frac{p_1V_1}{T_1}(T_3 - T_2) = 100$ Дж. **10.171.** $A = \frac{m}{M}RT\frac{(n-1)}{n}$. **10.172.** $\Delta U = 0$; $T = \frac{A}{2\nu R} \approx 210$ К. **10.173.** $A = pV$. **10.174.** $A = \frac{p_2+p_1}{2}(V_2 - V_1) = 900$ Дж. **10.175.** $A = \frac{a}{2}(V_2^2 - V_1^2) = 0{,}24$ мДж; энергия поглощается. **10.176.** $A = \frac{p_0}{2V_c} \times (V_1^2 - V_0^2)$; $\Delta T = \frac{p_0}{\nu R V_0}(V_1^2 - V_0^2)$. **10.177.** $A = \frac{p_1^2 - p_2^2}{2b} = 3$ МДж. **10.178.** $A = R\frac{m}{M}\frac{\alpha}{2}(V_2^2 - V_1^2)$; $\Delta Q > 0$. **10.179*.** В изобарическом. **10.180*.** $A = \frac{m}{M}RT \times \ln\frac{V_2}{V_1} = 6{,}5$ кДж. **10.181*.** $A = p_1V_1\ln\frac{V_2}{V_1} = 2{,}06$ кДж. **10.182*.** $A = \frac{m}{M}RT \times \ln\frac{p_1}{p_2} = 85{,}6$ кДж; $V_2 = \frac{m}{M}\frac{RT}{p_2} = 0{,}3$ м^3. **10.183*.** $A_{2,3} = 0$; $A_{3,4} = 50$ Дж; $A_{1,2} = p_1V_1\ln\frac{V_2}{V_1} = 69$ Дж. См. рис. 55. *1—2*: $T = \text{const}$; *2—3*: $T_3 = \frac{T}{2}$; *3—4*: $T_4 = 2T_3$; ΔT всего процесса равно 0. **10.184.** $Q = 800$ Дж. **10.185.** $Q = \Delta U - A = 300$ Дж. **10.186.** $A = (1-\eta)Q = 2{,}8$ кДж. **10.187.** $k = 1 - \frac{A}{Q} = 0{,}6$. **10.188.** $U_0 = \frac{Q-A}{n-1}$.

Рис. 55

10.189. $U = \frac{3}{2}\nu RT = 7{,}5 \cdot 10^6$ Дж; $\Delta U = 0$; $A = Q = 10$ кДж. **10.190.** $\frac{\Delta p}{p} = \frac{2}{3}\nu RT \cdot 100\% = 27\%$. **10.191.** $\Delta Q = \frac{3}{2}\Delta pV_1 = 600$ кДж. **10.192.** $T_2 = T_1\left(1+\frac{2}{5}\frac{Q}{pV}\right) = 400$ К; $p_2 = p_1\frac{T_2}{T_1} = 1{,}33 \cdot 10^7$ Па. **10.193.** $Q = \Delta U = \frac{3}{2}\nu RT(n^2 - 1) = 10$ кДж. **10.194.** $A = \nu R\Delta T = 3{,}3$ МДж; $\Delta U = Q - A = 6{,}1$ МДж. **10.195.** $Q = \frac{5}{2}\left(\frac{Mg}{S} + p_0\right)V_0\left(\frac{T}{T_0} - 1\right) = 3{,}21 \cdot 10^5$ Дж; $\Delta U = \frac{3}{5}Q = 1{,}93 \cdot 10^5$ Дж. **10.196.** $V = \frac{t_1 + 273}{p} \cdot \frac{Q_1 - Q_2}{t_2 - t_1} = 43{,}3$ л. **10.197.** $Q = \frac{3}{2}p_2V_2 - \frac{5}{2}p_1V_1 + p_1V_2 = 2{,}35 \cdot 10^6$ Дж. **10.198.** $\Delta U = 75$ Дж. **10.199.** $Q_1 > Q_2$;

$\Delta Q = (p_1 - p_2)(V_1 - V_2) = 400$ кДж. **10.200.** $A = \frac{3}{2}\nu R\Delta T$. **10.201.** Уменьшится на 150 Дж. **10.202.** $A = \frac{3}{2}\frac{m}{M}R\Delta T = 336{,}5$ Дж. **10.203.** $T_2 = T_1 + \frac{2MA}{3mR} = 620$ К. **10.204.** $\Delta T = \frac{Q}{2R} = 2$ К. **10.205.** $\frac{Q}{A} = 3$. **10.206.** $Q = A = \frac{3}{4}pV$. **10.207.** $Q = \frac{15}{4}\nu RT = 36{,}5$ кДж. **10.208.** $Q = \frac{(V_2 - V_1)(4p_1 + p_2)}{2}$. **10.209.** См. рис. 56. $Q = \frac{5}{2}V_1(p_2 - p_1)$. **10.210.** Точки *1*, *3* и *2*, *4* лежат на изотермах. $Q = \frac{7}{2}\frac{m}{M}R \times (T_4 - T_1) = 29$ кДж. См. рис. 57. **10.211.** $Q_{13} > Q_{12}$. **10.212.** $\frac{\Delta Q_2}{\Delta Q_1} = \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = 2$.

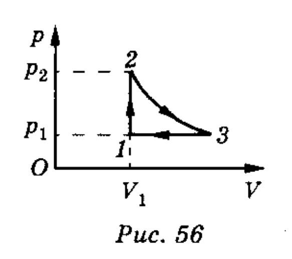


Рис. 56

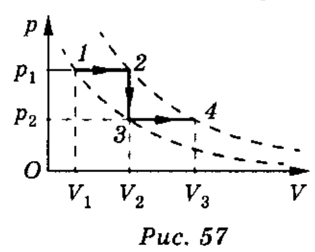


Рис. 57

10.213. $Q = \frac{5}{4}mv^2$. **10.214.** $C_{MV} = \frac{5}{2}R = 20{,}8\ \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$; $c_V = \frac{C_{MV}}{M} = 650\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$. **10.215.** $c_V = \frac{3p_0}{2\rho T_0}$; $c_p = \frac{5}{2}\frac{p_0}{\rho T_0}$, где p_0 — нормальное давление, T_0 — нормальная температура. **10.216.** $\frac{c_p}{c_V} = \frac{MQ_1p_0V(T_1 - T_2)}{m\Delta TQ_2RT_1} = 1{,}69$. **10.217.** $c_V = \frac{\frac{3}{2}R\left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}\right)}{(m_1 + m_2)} \approx 561\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$. **10.218.** $A = \frac{2}{5}Q = 480$ Дж; $c_{\mu p} = \frac{5}{2}\nu R = 20{,}8\ \frac{\text{кДж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$. **10.220.** $M = \frac{R}{c_p - c_V} = 32\ \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$; O_2 (кислород). **10.221.** $C_\mu = \frac{1}{2}R$. **10.222.** $C_\mu = 2R$. **10.223.** $\Delta U = -A = -300$ Дж; $\Delta T = -A/mc = -0{,}4$ К. **10.224.** $A = \frac{m}{M}R(T_2 - T_1) = 332$ Дж; $Q = \frac{(c_V + R)A}{R} = 4A \approx 1330$ Дж. **10.225.** $\frac{A}{Q} = 0{,}8$. **10.226.** $Q = \frac{7}{2}\nu RT_0(\eta - 1) = 7{,}94$ кДж. **10.227.** $\Delta T = \frac{Q}{m}/\left(c_V + \frac{R}{M}\right) \approx 2$ К. **10.228.** В первом случае больше в γ раз, где $\gamma = \frac{i + 2}{i}$;

а) $\gamma = 1{,}67$; б) $\gamma = 1{,}4$; в) $\gamma = 1{,}33$. **10.229.** $T\downarrow$ (уменьшается), Q подводится. **10.230.** $C_{max} = C_{12} = \frac{5}{2}R$; $C_{min} = C_{23} = \frac{5}{6}R$. **10.231.** $C_{12} = \frac{11}{5}R$; $C_{23} = \frac{3}{2}R$; $C_{34} = \frac{9}{2}R$. **10.232.** $p = p_0\frac{1 + \alpha T_1/T_0}{1 + \alpha}$; $\alpha = \frac{2mC}{3\nu R} = 7{,}22$; $p = 1{,}58 \cdot 10^5$ Па. **10.233.** В первом случае, т. к. за счет внутренней энергии газ во время рабочего хода совершает полезную работу. **10.234.** $N = \frac{Q_1 - Q_2}{\Delta t} = 27{,}8$ Вт. **10.235.** $Q = \frac{Q_2}{1 - \eta} = 1{,}875$ Дж. **10.236.** $\eta = 25\%$; $A = 5$ кДж. **10.237.** $Q_3 = \frac{N}{\eta}\cdot\Delta t = 60$ МДж. **10.238.** $Q_x = A\frac{1 - \eta}{\eta} = 1{,}1$ кДж. **10.239.** $A = Q\frac{\eta}{1 - \eta} = 4{,}4$ Дж. **10.240.** $A = \frac{mR(T_2 - T_1)^2}{MT_1}$. **10.241.** $Q_{пол} = \frac{5}{2}p_2V_2 - V_1\left(\frac{3}{2}p_1 + p_2\right)$, $Q_{отд} = \frac{5}{2}p_1V_1 - V_2\left(\frac{3}{2}p_2 - p_1\right)$; $\Delta U = 0$. **10.242*.** $A = 3R\left(T_1 - \frac{3A}{4R}\right)$. **10.243.** $A = \frac{\nu R\Delta T}{\alpha\beta - 1}(\alpha - 1)(\beta - 1) \approx 250$ Дж. **10.244.** $A = 1{,}5A_1$. **10.245.** $T = \frac{25A}{8R}$. **10.246.** $A = 0$. Получает тепло в процессах: *1—2*, *2—3*, *3—4*; отдает: *5—6*, *6—1*, *4—5*. **10.247.** $A = \frac{1}{2}(V_2 - V_1)(p_0 - p_1)\left[1 - \left[\frac{p_2 - p_0}{p_0 - p_1}\right]^2\right] = 0{,}75$ кДж. **10.248.** $\Delta U = 0$; $A = -3p_0V_0 = -3\cdot 10^5$ Дж. **10.249.** $A_{1,2} = \frac{(15Q - 12\nu RT_1)}{17} = 1{,}22$ кДж. **10.250*.** $A = \nu RT\left(\ln a + \frac{1}{a} - 1\right) = 6{,}4\cdot 10^5$ Дж; $\eta = \frac{\ln a + \frac{1}{a} - 1}{\ln a + \frac{3}{2} - \frac{3}{2a}} = 0{,}13$. **10.251.** $A_2 > A_1$. См. рис. 58. **10.252.** $A = (p_1 - p_3)(V_2 - V_1) < 0$. **10.253.** $A = -Q + \nu R(T_3 - T_4) = 1000$ Дж. **10.254.** $A = Q - \nu R(T_2 - T_1) = 1124$ Дж. **10.255.** $A = Q - \nu R(T_4 - T_1) = 264$ Дж.

10.256. $A = \nu RT_4$. **10.257.** $A = R\left(\sqrt{T_3} - \sqrt{T_1}\right)^2$. **10.258.** $A = \nu R(T_3 - T_2) - Q = 1155$ Дж. **10.259.** $A = Q - \nu R(T_2 - T_1) = 338$ Дж. **10.260.** $A = Q - \nu R(T_4 - T_1) = 1767{,}5$ Дж. **10.261.** $\eta = \frac{2(p_2 - p_1)(V_2 - V_1)}{3V_1(p_2 - p_1) + 5p_2(V_2 - V_1)}$. **10.262.** $\eta =$

Рис. 58

$= \dfrac{R(p_2 - p_1)(V_2 - V_1)}{c_V V_1((p_2 - p_1) + c_p p_2(V_2 - V_1))} = 0{,}11$. **10.263.** $\dfrac{\eta_1}{\eta_2} = 0{,}71$. **10.264.** $\dfrac{\eta_1}{\eta_2} = \dfrac{13}{7}$.

10.265. $\eta = 15\%$. **10.266.** $\eta = \dfrac{100\%}{n+1} = 10\%$. **10.268.** $\eta = 6\%$. **10.269.** $\eta = 33\%$. **10.270.** $\dfrac{\eta_1}{\eta_2} = \dfrac{5}{3}$. **10.271.** $\eta_1 = \dfrac{\eta}{2 - \eta}$. **10.272.** $\eta = 25\%$. **10.273.** $\dfrac{p_2}{p_1} = \dfrac{3\eta_2 - \eta_1}{5{,}5\eta_2 - 3{,}5\eta_1} = 2$. **10.274.** $\eta = 20\%$. **10.275.** $A = 2\nu RT_0 = 3324$ Дж; $\eta = 19\%$.

10.276. См. рис. 59. $\eta = 15{,}4\%$. **10.277.** $\dfrac{Q_p}{Q_V} = \dfrac{1}{1 - \eta} = 2{,}5$. **10.278.** $\eta = \dfrac{1}{3}(2\eta_1 + \eta_2) \cdot 100\% = 35\%$. **10.279.** $\eta = \left(1 - \dfrac{T_2}{T_1}\right) \cdot 100\% = 25\%$.

Рис. 59

10.280. $n = \dfrac{1 - \eta}{1 - 2\eta} = \dfrac{3}{2}$. **10.281.** КПД увеличится больше при уменьшении температуры холодильника. **10.282.** $\dfrac{\eta_1}{\eta_2} = \dfrac{(T_2 - T)T_1}{(T_1 - T)T_2} = 4{,}5$. **10.283.** $\eta = \dfrac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\% = 23\%$; $Q_2 = Q_1 \cdot \dfrac{T_2}{T_1} = 46$ кДж; $N = Q_1 \dfrac{T_1 - T_2}{T_1} = 14$ кВт. **10.284.** $\eta = \dfrac{A}{Q_1} \cdot 100\% = 30\%$; $T_1 = T_2 \dfrac{Q_1}{Q_1 - A} = 400$ К. **10.285.** $\eta = \left(1 - \dfrac{T_2}{T_1}\right) \cdot 100\% = 50\%$; $Q_2 = A_2 = A_1 \cdot \dfrac{T_2}{T_1} = 100$ Дж. **10.286.** $T_2 = \dfrac{3}{4} T_1 = 300$ К. **10.287.** $\eta = \left(1 - \dfrac{T_2}{T_1}\right) \cdot 100\% = 26{,}8\%$; $Q_п = \dfrac{Nt \cdot T_1}{T_1 - T_2} = 9{,}9 \cdot 10^8$ Дж; $Q_0 = \dfrac{Nt \cdot T_2}{T_1 - T_2} = 7{,}2 \cdot 10^8$ Дж.

10.288. $\eta = \left(1 - \dfrac{T_2}{T_1}\right) \cdot 100\% = 80\%$; $N = 10^5$ Вт. **10.289.** $A_{12} = Q_1 = \dfrac{Q_2}{1 - \eta} = 5$ Дж. **10.290.** $\eta = 1 - T_2 mR/(pV\mu) = 0{,}5$. **10.291.** $N_x = N_n\left(\dfrac{T_1}{T_2} - 1\right) = 2{,}93 \cdot 10^4$ Вт. **10.292.** $Q_0 = A\left(\dfrac{1}{\eta} - 1\right) = 30$ Дж; $\varepsilon = \dfrac{Q_2}{A} = 3$. **10.293.** $\eta =$

$= (t_2 - t_1) \cdot 100\% / (t_2 + 273\text{ К}) = 8{,}3\%$; $Q_1 = \dfrac{Q}{1-\eta} = 31$ кДж; $\varepsilon = \dfrac{t_1 + 273}{t_2 - t_1} = 9{,}7$.

10.294. $m_2 = \dfrac{T_2}{T_1} \cdot \dfrac{rm_1}{\lambda_1} = 4{,}94$ кг. **10.295.** $\rho = \dfrac{m}{V} = 0{,}016$ кг/м^3. **10.296.** $\rho = \dfrac{m}{V} =$ $= 0{,}03$ кг/м^3. **10.297.** $N = \dfrac{\rho V}{M} \cdot N_А = 3{,}3 \cdot 10^{23}$. **10.298.** $p = \dfrac{\rho RT}{M} = 2{,}7$ кПа.

10.299. $\rho = \dfrac{pM}{RT} = 0{,}09$ кг/м^3. **10.300.** $p_2 = 2p_0\dfrac{T}{T_0} = 1{,}5 \cdot 10^5$ Па. **10.301.** $p_1 =$ $= \dfrac{p}{\varphi} = 2{,}6 \cdot 10^3$ Па. **10.302.** $\rho = \dfrac{\varphi p_н M}{RT} = 0{,}02$ кг/м^3. **10.303.** $p_н = \dfrac{mRT}{\varphi MV} =$ $= 2330$ Па. **10.304.** $\Delta m = \dfrac{(\varphi_2 - \varphi_1)p_н MV}{RT} \approx 0{,}15$ кг. **10.305.** $\dfrac{\Delta m}{m} = \dfrac{MpV}{mRT} =$ $= 0{,}17$. **10.306.** $\Delta m = \dfrac{MV}{R}\left[\dfrac{\varphi_2 p_{н2}}{T_2} - \dfrac{\varphi_1 p_{н1}}{T_1}\right] = 0{,}3$ кг. **10.307.** $\Delta m = \dfrac{VM}{R} \times$ $\times \left(\dfrac{\varphi_1 p_{н1}}{T_1} - \dfrac{\varphi_2 p_{н2}}{T_2}\right) \approx 32{,}9$ кг. **10.308.** $\Delta T = 10$ К. **10.309.** $\varphi = \dfrac{\varphi_1 V_1 + \varphi_2 V_2}{V_1 + V_2} =$ $= 27\%$. **10.310.** $\rho_1 = 11{,}5 \cdot 10^{-3}$ кг/м^3; $\rho_2 \approx 9 \cdot 10^{-3}$ кг/м^3. **10.311.** $\rho = \dfrac{pM}{RT} =$ $= 0{,}58$ кг/м^3. **10.312.** $\varphi_2 = 100\%$. **10.313.** $p = p_1\dfrac{T_2}{T_1} + \dfrac{mRT_2}{MV} = 2{,}26 \cdot 10^5$ Па.

10.314. 1 м^3 влажного воздуха. **10.315.** $\dfrac{\rho_{вл}}{\rho_0} = 1 - \dfrac{\varphi RT(M_{возд} - M_{H_2O})\rho_н}{pM_{возд}M_{H_2O}} \approx$ $\approx 0{,}987$. **10.316.** $\dfrac{\Delta\rho}{\rho_c} = \dfrac{\varphi p_н(M_{возд} - M_{H_2O})}{pM_{возд}} \cdot 100\% = 0{,}88\%$. **10.317.** $p =$ $= p_1 \cdot \dfrac{T_к}{T_1} + \dfrac{m}{M_{H_2O}} \cdot \dfrac{RT_к}{V} = 1{,}71 \cdot 10^5$ Па. 10.318. Не выпадет. **10.319.** $t \approx 23$ °С.

10.320. На большой высоте воздух перенасыщен водяным паром. Самолет вносит центры конденсации, на которых конденсируется пар. **10.321.** $\Delta m = \dfrac{p_н VM}{RT}\left(\varphi - \dfrac{1}{n}\right) \approx 17{,}2$ г. **10.322.** $\Delta m = \dfrac{VM}{R}\left[\dfrac{p_1}{T_1} - \dfrac{p_2}{T_2}\right] = 9$ мг.

10.323. $h = d\left(\dfrac{\rho RT}{Mp} - 1\right)$. **10.324.** $p_2 = 3p_1 - 0{,}8p_н = 2{,}66 \cdot 10^4$ Па. **10.325.** $\varphi =$ $= \dfrac{p_н V_1 T_2}{p_0 V_2 T_1} \approx 44{,}5\%$, где p_0 — давление насыщенных паров воды при 100 °С.

Ответы

10.326. $m = \dfrac{pq\tau M}{RT} = 24{,}2$ г. **10.327.** $\varphi_2 = \varphi_1\rho_1 \cdot \dfrac{RT_2}{Mp_0}\eta = 29\%$, где p_0 — давление насыщенных паров воды при 100 °С. **10.328.** $V_2 = V_1\varphi_1\dfrac{p_0}{p_{н2}} \cdot \dfrac{T_2}{T_1} = 1{,}36$ л. **10.329.** $\Delta m = (\varphi\rho_1 - \rho_2)V = 2{,}71 \cdot 10^3$ кг. **10.330.** При увеличении температуры. **10.331.** $n = \dfrac{Mp}{RT\rho_в} \cdot 100\% = 0{,}057\%$, где $\rho_в$ — плотность воды. **10.332.** $\rho = \dfrac{(p_0 - p)M}{RT} = 9{,}8 \cdot 10^{-3}$ кг/м^3. **10.333.** $p_н = p_0 - \dfrac{\rho ga(l + 2a)}{l - 2a}$. **10.334.** $l = \dfrac{T_2p_0}{T_1\rho g} = 13{,}9$ м. **10.335.** При $t = 20$ °С $\Delta h_1 = \dfrac{p_0}{\rho g} = 10$ м; при $t = 50$ °С $\Delta h_2 = 10{,}7$ м. **10.336.** $\Delta h = \dfrac{h}{2}\left(-1 + \sqrt{1 + \dfrac{4p_0T_1}{\rho ghT_0}}\right) \approx 37$ см. **10.337.** $\Delta F = g\dfrac{p_0V}{RT}\varphi(M_{возд} - M_{H_2O}) = 1$ Н. **10.338.** $A = \dfrac{Q}{rM}RT \approx 13{,}8$ Дж. **10.339.** $Q = \dfrac{MAr}{RT} = 137$ Дж. **10.340.** $\varphi = \varphi_0 + \dfrac{QRT \cdot 100\%}{M_{H_2O}V[c(t - t_1) + r]p_н} \approx 50\%$.

10.341. Поршень опустится на $\Delta h = \dfrac{mc(t_к - t_0)RT_к}{rMp_0S} = 0{,}58$ м, p_0 — давление насыщенного пара при 100 °С. **10.342.** $h = \dfrac{[Q - mc(t_к - t)]RT_к}{rMp_0S} \approx 0{,}17$ м.

10.343. $m_1 = \dfrac{M_1(p_0 - p_1 - \rho gx)V}{RT} = 4{,}85 \cdot 10^{-6}$ кг, $m_2 = \dfrac{M_2p_1V}{RT} = 4{,}36 \cdot 10^{-7}$ кг. **10.348.** Да; $F_{п.н} > F_т$. **10.349.** $F = \sigma_2 l = 2{,}4$ мН; $\Delta W = 2\sigma ld = 48$ мкДж. **10.350.** $\sigma = \dfrac{mg}{\pi dn} = 74$ мН/м. **10.351.** $\dfrac{\sigma_2}{\sigma_1} = \dfrac{n_2}{n_1} = 1{,}2$. **10.352.** $p = \dfrac{2\sigma}{Rgh} = 820$ кг/м^3. **10.353.** $h = \dfrac{4\sigma}{\rho gd} = 21$ см. **10.354.** $\sigma = \dfrac{p_0d(n - \eta^3)}{8(\eta^2 - 1)n}$.

10.355. $p = p_0 + pgh + \dfrac{4\sigma}{d} = 2{,}2$ атм. **10.356.** $\sigma = \dfrac{1}{4}\left[\rho gh + \dfrac{p_0l}{l - h}\right]d$. **10.357.** $\sigma = \dfrac{1}{2}R\rho gh$. **10.358.** $g \leqslant \dfrac{\sigma d}{m}$. **10.359.** $x = \dfrac{4\sigma}{\rho dg} = 4{,}8$ мм. **10.360.** $\sigma_2 = \sigma_1\dfrac{\rho_2\Delta h_2}{\rho_1\Delta h_1} = 22$ мН/м. **10.361.** $h = \dfrac{2\sigma}{\rho dg} \approx 7{,}3$ см. **10.362.** $F = \dfrac{m\sigma}{\rho d}\left(\sqrt{\dfrac{\pi d\rho}{m}} + \dfrac{2}{d}\right) \approx 15$ Н.

10.363. $A = 8\pi R_2\sigma + \left(p_0 + \frac{4\sigma}{R}\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{4\sigma}{p_0R}\right) \cdot \frac{4\pi}{3}R^3 \approx 2$ мДж. **10.364.** $E = 4\pi\sigma R^2\left(\frac{R}{r} - 1\right) \approx 3{,}67$ мДж. **10.365.** $E = 6Sh\sigma\left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D}\right) = 1{,}168 \cdot 10^{12}$ Дж; $N = \frac{E}{t} = 1{,}95 \cdot 10^6$ кВт.

11. Электростатика

11.2. Нет. **11.3.** Увеличится. **11.4.** Уменьшится. **11.5.** $N = \frac{q}{e} = 10^{10}$. **11.6.** $N = \frac{q}{e} = 5 \cdot 10^{11}$. **11.7.** $q = Ne = -6{,}4 \cdot 10^{-9}$ Кл. **11.8.** $\eta = \frac{\mu q}{e\rho VN_{\text{A}}n} = 7{,}38 \cdot 10^{-5}$. **11.9.** $q = q_1 + q_2 = -6$ мкКл. **11.10.** $q = \frac{q_1 + q_2}{2} = 1$ мкКл. **11.11.** $\frac{q_1}{q_2} = 1{,}8$. **11.13.** $\sigma = \frac{q}{\pi d^2} = 2{,}5 \cdot 10^{-6}$ Кл/м^2. **11.14.** $q = 4\pi R^2\sigma = 10^{-6}$ Кл. **11.15.** $F = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 R^2} = 9 \cdot 10^3$ Н. **11.16.** $F = \frac{kq_1q_2}{r^2} = 18$ кН. **11.17.** $F = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 R^2} = 2{,}3 \cdot 10^{-8}$ Н. **11.18.** $\eta = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 Gm_e^2} \approx 4{,}2 \cdot 10^{42}$. **11.19.** $r = \sqrt{\frac{kq_1q_2}{F}} = 10$ см. **11.20.** а) В 3 раза увеличится; б) уменьшится в 4 раза; в) уменьшится в 9 раз. **11.21.** Увеличить в 2 раза. **11.22.** $\frac{F_1}{F_2} = (1 + \eta)^2 = 2{,}25$. **11.23.** $\Delta q = q\sqrt{\frac{n - 1}{n}} = 3{,}87$ мкКл. **11.24.** Сила отталкивания меняется на силу притяжения: $|\Delta\vec{F}| = \frac{2kq_1q_2}{r^2} = 0{,}18$ Н. **11.25.** $N = \frac{r}{e}\sqrt{\frac{F}{k}} = 1{,}25 \cdot 10^9$. **11.26.** $N = \frac{2m}{e}\sqrt{\pi\varepsilon_0 G} = 5{,}4 \cdot 10^4$; $\frac{\Delta m}{m} = \frac{2m_e}{e}\sqrt{\pi\varepsilon_0 G} = 4{,}9 \cdot 10^{-22}$. **11.27.** $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{Ze\rho VN_{\text{A}}}{MR}\right)^2 \approx 1{,}6 \cdot 10^{21}$ Н, где ρ — плотность меди. **11.28.** $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \left(\frac{Z\eta emN_{\text{A}}}{MR}\right)^2 \approx 2{,}34 \cdot 10^{13}$ Н. **11.29.** $q_{1,2} = \frac{Q}{2} \pm \sqrt{\frac{Q^2}{4} - 4\pi\varepsilon_0 R^2 F}$;

$q_1 = 3{,}8 \cdot 10^{-5}$ Кл, $q_2 = 1{,}2 \cdot 10^{-5}$ Кл. **11.30.** $q = 4r\sqrt{\pi\varepsilon_0 F} = 0{,}1$ мкКл. **11.31.** $\Delta F = \dfrac{(q_1 - q_2)^2}{16\pi\varepsilon_0 r^2} = 0{,}225$ Н. **11.32.** Сила притяжения меняется на силу отталкивания: $|\Delta\vec{F}| = \dfrac{(q_1 - q_2)^2}{16\pi\varepsilon_0 r^2} = 0{,}9$ Н. **11.33.** $q_{1,2} = \pm R\sqrt{4\pi\varepsilon_0}\,(\sqrt{F_2} \pm \pm \sqrt{F_1 + F_2})$; $q_1 = \pm 2{,}6 \cdot 10^{-7}$ Кл, $q_2 = \mp 6{,}7 \cdot 10^{-8}$ Кл. **11.34.** $q_1 = q_2 \times \times \left(1 + \dfrac{2n^2}{m} \pm \dfrac{2n^2}{m}\sqrt{1 + \dfrac{m}{n^2}}\right)$; $q_1 = 5q_2 = 8$ нКл или $q_1 = \dfrac{q_2}{5} = 0{,}32$ нКл. **11.35.** $q = 2R\sqrt{\pi\varepsilon_0 mg} \approx 9{,}4 \cdot 10^{-8}$ Кл; $T = 2mg = 1{,}76 \cdot 10^{-3}$ Н. **11.36.** $q_2 = = \dfrac{4\pi\varepsilon_0 r^2 mg \cdot \operatorname{tg}\alpha}{q_1} = 56{,}4$ нКл. **11.37.** $q = 2x\sqrt{\dfrac{\pi\varepsilon_0 mgx}{\sqrt{4l^2 - x^2}}} = 5{,}2 \cdot 10^{-9}$ Кл. **11.38.** $q = 2r\sqrt{\dfrac{\pi\varepsilon_0 mg(n-1)}{n}} = 7{,}38 \cdot 10^{-9}$ Кл; $T = \dfrac{mg}{2n\cos\left(\dfrac{\alpha}{2}\right)} = 2{,}8 \cdot 10^{-3}$ Н. **11.39.** $\Delta x = \dfrac{q}{4\sqrt{\pi\varepsilon_0 mg}} - \dfrac{3mg}{k} = 18$ см. **11.40.** $k = \dfrac{q^2\sqrt{l^2 + a^2}}{32\pi\varepsilon_0 a^3(\sqrt{l^2 + a^2} - l)}$. **11.41.** $Q = \dfrac{8\pi\varepsilon_0 d^2 mg}{q}$. **11.42.** $F = \dfrac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 l^2}\left(1 + \dfrac{m_1}{m_2}\right) = 2{,}7 \cdot 10^{-2}$ Н. **11.43.** $\left|\dfrac{q}{m}\right| = = \dfrac{16\pi^3\varepsilon_0 R^3}{t^2 Q} = 1{,}1 \cdot 10^{-8}$ Кл/кг. **11.44.** $v = \dfrac{e}{2\sqrt{\pi\varepsilon_0 R m_e}} = 2{,}2 \cdot 10^6$ м/с. **11.45.** а) $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l\cos\alpha}{g}}$; $F = \dfrac{mg}{\cos\alpha} + F_к$; б) $T = 2\pi\sin\alpha\sqrt{\dfrac{ml\sin\alpha}{mg\operatorname{tg}\alpha \cdot \sin^2\alpha - F_к}}$; $F = \dfrac{mg}{\cos\alpha}$; в) $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{ml\cos\alpha}{mg - 2F_к\cos\alpha}}$; $F = \dfrac{mg}{\cos\alpha} - F_к$, где $F_к = \dfrac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 l^2}$. **11.46*.** $a = \dfrac{e^2}{4\pi\varepsilon_0|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|^2 m_e} = 50{,}6$ м/с^2. **11.47.** $Q = \dfrac{4}{9}q$; $x = \dfrac{l}{3}$; неустойчивое. **11.48.** $T_1 = \dfrac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 l^2}\left(\dfrac{q_3}{4} + q_2\right) = 0{,}1$ Н; $T_2 = \dfrac{q_3}{4\pi\varepsilon_0 l^2}\left(\dfrac{q_1}{4} + q_2\right) =$

$= 0{,}074$ Н. **11.49.** $q = l\sqrt{\frac{2}{5}\pi\varepsilon_0 k(l - l_0)}$. **11.50.** $F = \frac{2q_1NeR}{\pi\varepsilon_0\left(\sqrt{4r^2 + R^2}\right)^3} = 2{,}04 \cdot 10^{-9}$ Н. **11.51.** $M = \frac{2q_1Qld}{\pi\varepsilon_0(4d^2 + l^2)^{3/2}}$. **11.52.** $F = \frac{q_3}{4\pi\varepsilon_0}\left(\left(\frac{q_1}{a^2}\right)^2 + \left(\frac{q_2}{b^2}\right)^2 + \frac{q_1q_2(a^2 + b^2 - c^2)}{(ab)^3}\right)^{1/2} = 0{,}77$ Н. **11.53.** $F = \frac{kq^2\sqrt{13}}{2R^2} = 18$ Н; $\beta = \mathrm{arctg}\,\frac{3}{2} - 45° = 11{,}3°$. **11.54.** $T = \frac{kq_1^2}{l^2} = 10$ Н. **11.55.** $q = 4l\sqrt{\pi\varepsilon_0 kl}$. **11.56.** $q = l\sin 2\alpha\sqrt{\frac{2\pi\varepsilon_0 mg\,\mathrm{tg}\,\alpha}{\cos\alpha}} = l\sqrt{\pi\varepsilon_0 mg} = 3{,}3 \cdot 10^{-8}$ Кл. **11.57.** $a = \frac{q^2}{2\sqrt{3}\pi\varepsilon_0 ml^2} = 1$ м/с^2. **11.58.** $\frac{q_1}{q_2} = 16\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\cos^3\left(\frac{\alpha}{4}\right) = 12{,}5$. **11.59*.** $\alpha_1 = 15°52'$, $\alpha_2 = 7°56'$ при $mg > \frac{kgQ}{l^2}\left(1 - \frac{\sqrt{2}}{4}\right)$; $\alpha_1 = 164°08'$, $\alpha_2 = 82°04'$ при $mg < \frac{kgQ}{l^2}\left(1 - \frac{\sqrt{2}}{4}\right)$. **11.60.** $Q = -q\sqrt{3} \approx 1$ мкКл. **11.61.** $q = 2R \cdot \sqrt{\frac{\pi\varepsilon_0 mg}{0{,}5 + \sqrt{2}}} = 2{,}7 \cdot 10^{-6}$ Кл. **11.62.** $q = -\frac{Q}{4}(1 + 2\sqrt{2})$; нет. **11.63.** $T = \frac{Q^2}{4\pi\varepsilon_0 l^2}\left(1 - \frac{q^2}{3\sqrt{3}Q^2}\right)$. **11.64.** $F = \sqrt{(F_1 + F_3)^2 + (F_4 - F_2)^2} = 40$ Н, где $F_i = \frac{|q_i| \cdot q_5}{2\pi\varepsilon_0 qa^2}$. **11.65.** $F = \frac{qQ}{8\pi^2\varepsilon_0 R^2}$. **11.66.** $Q = \frac{8\pi^2\varepsilon_0 R^2(T_0 - T)}{q}$. **11.67.** $Q = -\frac{q}{\sqrt{2}}$; неустойчивое равновесие. **11.68*.** а) Сила притяжения $F_1 = \frac{\pi q^2}{24\varepsilon_0 r^2}$; при решении воспользоваться тем, что сумма числового ряда $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n^2} = \frac{\pi^2}{6}$; б) сила отталкивания $F_2 = \frac{F_1}{2} = \frac{\pi q^2}{48\varepsilon_0 r^2}$; при решении воспользоваться тем, что сумма числового ряда $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^n = \frac{\pi^2}{12}$. **11.69.** $F = mg\left(\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 - 1\right) = 88{,}2$ мН; $q = l\sqrt{4\pi\varepsilon_0 F} =$

Ответы

$= 1,6$ мкКл. **11.70.** $T = \frac{1}{2}(T_{пр} + T_л) = 0,76$ с, где $T_{пр} = 2\pi\sqrt{\frac{2R}{g}}$, $T_л = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{g}{R} + \frac{qQ}{32\pi\varepsilon_0 mR^3}}}$. **11.71.** $T = \frac{\pi l}{q}\sqrt{\frac{\pi\varepsilon_0 ml}{2}} = 0,83$ с. **11.72.** Заряд положительный, $Q = \frac{16\pi^3\varepsilon_0 ml^3}{81q_1T^2} = 2 \cdot 10^{-7}$ Кл. **11.73.** $T = 4\pi R\sqrt{\frac{\pi\varepsilon_0 m}{\gamma q}}$. **11.74.** Заряд отрицательный, $Q = \frac{2\pi\varepsilon_0 ma^3\omega^2}{q} = 2 \cdot 10^{-6}$ Кл. **11.75*.** $T = \pi\sqrt{\frac{2\pi\varepsilon_0 m(R + r)^3}{qQ}}$. **11.76.** При условии, если в точку поля внести отрицательный заряд. **11.77.** а) Положительный; б) отрицательный; в) левая пластина положительная, правая — отрицательная. **11.78.** $q_2 > q_1$. **11.79.** а) Да; б) нет; в) нет. **11.80.** $E = \frac{F}{q} = 7,5 \cdot 10^4$ В/м. **11.81.** $q = 3,3 \cdot 10^{-7}$ Кл. **11.82.** $F = Eq = 6$ мкН. **11.83.** $F = eE = 3,2 \cdot 10^{-17}$ Н; $a = \frac{eE}{m_e} = 3,5 \cdot 10^{17}$ м/с^2. **11.84.** $E = \frac{kq}{r^2} = 9 \cdot 10^4$ В/м. **11.85.** $E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R^2} = 8 \cdot 10^5$ В/м. **11.86.** $R = \sqrt{\frac{kq}{E}} = 30$ см. **11.87.** $E_2 = E_1\frac{R_1^2}{R_2^2} = 25$ В/м. **11.88.** $\Delta q = 4\pi\varepsilon_0\Delta Er^2 = 1$ нКл. **11.89.** $r_1 = r\sqrt{\frac{E}{E - \Delta E}} = 12,2$ см. **11.90.** Увеличить на $\Delta r = r\left(\sqrt{1 + \eta} - 1\right) = 3$ см. **11.91.** Уменьшилась на 73%; $\eta = \frac{\eta_1 + 2\eta_2 + \eta_2^2}{(1 + \eta_2)^2} = 0,73$. **11.92*.** $\vec{E} = \frac{q(\vec{r} - \vec{r}_0)}{4\pi\varepsilon_0|\vec{r} - \vec{r}_0|^3} = 2,7\vec{i} - 3,6\vec{j}$; $E = 4,5$ кВ/м. **11.93.** $C(2, 3)$ или $C(-4, -3)$. **11.94.** $E_C = \frac{4E_A \cdot E_B}{\left(\sqrt{E_A} + \sqrt{E_B}\right)^2} = 16$ В/м. **11.95.** $E_C = E_A + E_B = 0,3$ кВ/м. **11.96.** $E = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$. См. рис. 60. **11.97.** $E_1 = 0$; $E_2 = 2E_0$, где E_0 — напряженность поля, создаваемая одним из зарядов. **11.98.** $x = \frac{l}{\sqrt{n} + 1} =$

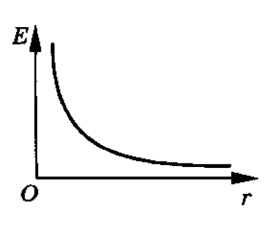


Рис. 60

$= 2$ см. **11.99.** $E = \dfrac{q_1 + |q_2|}{\pi\varepsilon_0 r^2} = 50{;}4$ кВ/м; на расстоянии $x = r\dfrac{\sqrt{q_2}}{\sqrt{q_1} - \sqrt{q_2}} =$ $= 64{,}6$ см от заряда q_2. **11.100.** $E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sqrt{\dfrac{q_1^2}{a^4} + \dfrac{q_2^2}{b^4}} = 9{,}2 \cdot 10^5$ В/м. **11.101.** $E =$ $= \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sqrt{\dfrac{q_1^2}{r_1^4} + \dfrac{q_2^2}{r_2^4} - \dfrac{2q_1|q_2|}{r_1^2 r_2^2}\cos\alpha} = 1{,}67 \cdot 10^4$ В/м, где $\cos\alpha = \dfrac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{2r_1 r_2}$.

11.102. $E_0 = 0{,}8E\sqrt{3} \approx 0{,}35$ В/м. **11.103.** $E = \dfrac{q\sqrt{2}}{4\pi\varepsilon_0 a^2} = 2{,}82 \cdot 10^4$ В/м.

11.104. а) $E = \dfrac{8qdr}{\pi\varepsilon_0(4r^2 - d^2)^2} = 2{,}2$ кВ/м; при $r >> d$ $E \to \dfrac{qd}{2\pi\varepsilon_0 r^3}$; б) $E =$ $= \dfrac{2qd}{\pi\varepsilon_0(4r^2 + d^2)^{3/2}} = 1{,}1$ кВ/м; при $r >> d$ $E \to \dfrac{qd}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$. **11.106.** а) $E = 0$; б) $E = \dfrac{q}{3\pi\varepsilon_0 a^2} = 480$ В/м. **11.107.** а) $E = 0$; б) $E = \dfrac{q}{\pi\varepsilon_0 a^2}$. **11.108.** $E_{\max} =$ $= \dfrac{4q}{3\sqrt{3}\pi\varepsilon_0 a^2}$; $x_{\max} = \dfrac{a}{2}$. **11.109.** $E = \dfrac{qx}{4\pi\varepsilon_0(R^2 + x^2)^{3/2}}$; $E_m = \dfrac{q}{6\pi\varepsilon_0 R^2\sqrt{3}}$.

См. рис. 61. **11.110.** $E = \dfrac{Qd}{8\pi^2\varepsilon_0 R^3} \approx 0{,}076$ В/м. **11.111.** $E = \dfrac{m_e\omega^2}{e}r$, где m_e и e масса и заряд электрона. См. рис. 62. **11.112.** $R = \dfrac{1}{2}\sqrt{\dfrac{q}{\pi\varepsilon_0 E}} = 94{,}9$ м.

11.113. $E_1 = 0$; $E_2 = 9 \cdot 10^4$ В/м; $E_3 = 10^4$ В/м. См. рис. 63. **11.114.** $\Delta q =$ $= 4\pi\varepsilon_0 E_1(R^2 - r^2) = -3 \cdot 10^{-9}$ Кл. **11.115.** $\rho = \dfrac{\varepsilon_0(E_0 - E)}{h} = 4{,}4 \cdot 10^{-13}$ Кл/м^2.

11.116. $E_1 = \dfrac{\lambda}{3\varepsilon_0}r_1 = 1{,}4 \cdot 10^5$ В/м; $E_2 = \dfrac{\lambda r_2}{3\varepsilon_0} = 2{,}8 \cdot 10^5$ В/м; $E_3 = \dfrac{\lambda R^3}{3\varepsilon_0}\dfrac{1}{r_3^2} =$

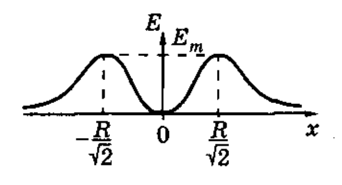


Рис. 61

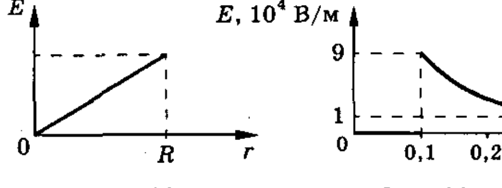


Рис. 62

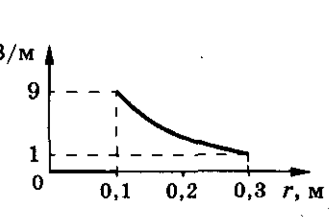


Рис. 63

Ответы

$= 0,3 \cdot 10^5$ В/м. См. рис. 64. **11.117*.** $r_1 = \frac{R}{4}$. **11.118*.** $\vec{E} = \frac{\lambda \vec{a}}{3\varepsilon_0}$. **11.119*.** $N = Eab \times \sin\alpha = 6$ В · м. **11.120*.** $N = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} ab \times \sin\alpha = 34$ В · м. **11.121.** $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$; нет.

Рис. 64

11.122. $\Delta F = \frac{q\sigma}{\varepsilon_0} = 1$ Н. **11.123.** $\Delta F = \frac{\sqrt{2}q\sigma}{2\varepsilon_0} = 36$ мН. **11.124.** $q = \frac{2F}{E_1 + E_2} = 2 \cdot 10^{-5}$ Кл. **11.125.** $|\sigma_1| = \varepsilon_0(E_A + E_B)$, $\sigma_1 = \pm 7,08$ нКл/м^2; $|\sigma_2| = \varepsilon_0(E_A - E_B)$, $\sigma_2 = \mp 1,77$ нКл/м^2. **11.126.** $E_1 = \frac{|\sigma_2| - \sigma_1}{2\varepsilon_0} = 169$ В/м; $E_2 = \frac{|\sigma_2| + \sigma_1}{2\varepsilon_0} = 395$ В/м. См. рис. 65. **11.127.** $q_2 = \frac{2\varepsilon_0 F_2 S}{q}$; $q_3 = q\left(1 - \frac{F_1}{F_2}\right)$. **11.128.** $E_1 = \frac{2q_1}{S\varepsilon_0} = 2,26$ кВ/м; $E_2 = \frac{3q_1}{S\varepsilon_0} = 3,39$ кВ/м; $E_3 = 0$; $E_4 = -E_1$; $F_1 = \frac{5}{2}\frac{q_1^2}{S\varepsilon_0} = 0,28$ мкН; $F_2 = \frac{3}{2}\frac{q_1^2}{S\varepsilon_0} = 0,17$ мкН, влево; $F_3 = \frac{q_1^2}{S\varepsilon_0} = 0,11$ мкН, вправо. См. рис. 66. **11.129.** $\Delta F = \frac{q^2}{S\varepsilon_0}$. **11.130.** $E_B = E_A \sin\alpha$; $E_C = 2E_A \sin\alpha$. **11.131.** $\sigma = 2\varepsilon_0\sqrt{4E_2^2 - E_1^2}$. **11.132.** $E = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}{2\varepsilon_0} = 2,6 \cdot 10^4$ В/м. См. рис. 67. **11.133.** $\sigma_3 = \pm\sigma\sqrt{5 + 4\cos\alpha} = \pm 2,65\sigma$; (+) — положение плоскости 3; (−) — положение плоскости 3′; $\beta = 21°$. **11.134.** $F = \frac{\sqrt{2}q\sigma}{\varepsilon_0} = 1,02$ мН. **11.135.** $E = \frac{m_e a}{e}$; $\sigma = \varepsilon_0 \frac{m_e a}{2e}$. **11.136.** $E = \frac{m_e F}{me}$; при свободном падении пластины.

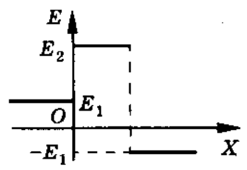


Рис. 65

Рис. 66

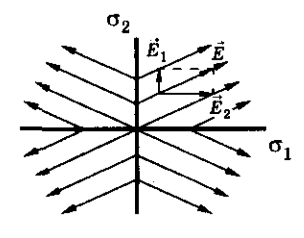


Рис. 67

11.137. $q = \frac{mg}{E} = 1{,}6 \cdot 10^{-13}$ Кл; $N = \frac{q}{e} = 10^{6}$, вертикально вниз. **11.138.** $\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1} = 2\left(\frac{r}{l}\right)^2 = 8 \cdot 10^{-4}$; на 0,08%. **11.139.** $E = \frac{m(g + a)}{q}$. **11.140.** $\Delta g = 8 \cdot 10^{-4}$ м/с^2. **11.141.** $E = \frac{2m_e(l - vt)}{et^2} = 11{,}4$ В/м. **11.142.** $S = \frac{m_e v^2}{2eE} = 2{,}8$ см; $t = \frac{vm_e}{eE} = 57$ нс. **11.143.** $v = \sqrt{\frac{2se}{(n^2 - 1)m_e}\sqrt{E_1^2 + E_2^2}} = 0{,}39$ Мм/с. **11.144.** $t_0 = \frac{v_0 \cos\varphi + \sqrt{v_0^2 \cos^2\varphi + \frac{2qE\Delta h}{m}}}{\frac{qE}{m}} = 0{,}025$ с; $v = 230$ м/с.

11.145. $l = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{qQ(M + m)}{\pi\varepsilon_0 E(Qm + qM)}}$. **11.146.** $T = \frac{E(q_1 m_2 + q_2 m_1)}{m_1 + m_2} - \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 l^2}$.

11.147. $t = \frac{2v_0 \sin\alpha}{g + \frac{qE}{m}}$; $l = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g + \frac{qE}{m}}$; $h = \frac{v_0^2 \sin\alpha}{2\left(g + \frac{qE}{m}\right)}$. **11.148.** $\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{qE}{mg}\right) = 7{,}1°$. **11.149.** $\Delta\alpha = \alpha - \operatorname{arctg}[(1 - \eta)\operatorname{tg}\alpha] = 2{,}5°$. **11.150.** $\omega = \sqrt{\frac{mg + qE}{ml\cos\alpha}}$; $T = \frac{mg + qE}{\cos\alpha}$; $E_к = \frac{1}{2}(Eq + mg)l \cdot \operatorname{tg}\alpha \cdot \sin\alpha$. **11.151.** $T_{1,2} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g \pm \frac{qE}{m}}}$; $T_1 = 1{,}99$ с, $T_2 = 3$ с. **11.152.** а) $A = qES = 4{,}2$ мДж; б) $A = qES\cos\alpha = 2{,}1$ мДж. **11.154.** $q = \frac{A}{\varphi} = 10^{-8}$ Кл. **11.155.** $U = Ed = 500$ В. **11.156.** а) $\varphi_1 > \varphi_2$; б) $\varphi_2 > \varphi_1$. См. рис. 68. **11.157.** $E_1 > E_2$; $\varphi_1 > \varphi_2$. **11.158.** Во всех случаях $A = 0$. **11.159.** $A_{12} = A_{13}$. **11.160.** $A_1 = 10$ мкДж; $A_2 = -10$ мкДж. **11.161.** $A = -0{,}5$ мкДж; $\Delta W = 0{,}5$ мкДж; $U = 20$ В. **11.162.** $A = 30$ мкДж; $\Delta W = -30$ мкДж; $U = 6 \cdot 10^3$ В; $\Delta\varphi = -6 \cdot 10^3$ В. **11.163.** $E_к = 1{,}6 \cdot 10^{-17}$ Дж; $\Delta W = 1{,}6 \cdot 10^{-17}$ Дж; $v = 5{,}9$ Мм/с. **11.164.** $\Delta\varphi = -2{,}3$ кВ. **11.165.** $\Delta\varphi = \frac{mv^2}{2q} = 4{,}2$ МВ; $E = \frac{mv^2}{2qs} = 2{,}1$ МВ/м. **11.166.** $\varphi = \varphi_0 - \frac{m_e v^2}{2e} = 190$ В. **11.167.** $v = s\sqrt{\frac{eA}{m}} = 8{,}4 \cdot 10^{5}$ м/с.

а) б)

Рис. 68

Ответы

11.168*. $A = 0$. Перемещение вдоль эквипотенциальной поверхности ($\vec{E} \perp \Delta\vec{r}$). См. рис. 69. **11.169.** При $\varphi_A = 0$, $\varphi_B = -25$ В, $\varphi_D = -75$ В; при $\varphi_C = 0$, $\varphi_B = 25$ В, $\varphi_D = -25$ В; при $\varphi_N = 0$, $\varphi_B = 75$ В, $\varphi_D = 25$ В. **11.170.** $T = (3qE + 3mg)\cos\alpha = 0{,}28$ Н. **11.171.** $T = (qE - mg)(3 - 2\cos\alpha) = 0{,}2$ Н. **11.172.** $A = \frac{l}{2}(m\omega^2 l + 3mg + 3qE)\left(1 - \frac{mg + qE}{m\omega^2 l}\right)$. **11.173.** $\upsilon = \sqrt{5l\left(g + \frac{qE}{m}\right)}$. **11.174.** $\Delta\varphi = 450$ В. **11.175.** В $\sqrt{n} = 2$ раза. **11.176.** $\varphi_C = \frac{2\varphi_A\varphi_B}{\varphi_A + \varphi_B} = 24$ В. **11.177.** $E = E_0\sqrt{2}$; $\varphi = 2\varphi_0$. **11.178.** а) $E = q\frac{\sqrt{4r^2 - R^2}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} = 576$ кВ/м, $\varphi = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0 r} = 36$ кВ; б) $E = \frac{qR}{4\pi\varepsilon_0 r^3} = 432$ кВ/м, $\varphi = 0$. **11.179.** $E = \frac{(|q_1| + |q_2|)^3}{4\pi\varepsilon_0 R^2(|q_1| \cdot |q_2|)} = 990$ В/м. **11.180.** $\varphi = \frac{3Eb}{2} = 45$ В. **11.181.** Эквипотенциальная поверхность с $\varphi = 0$ — окружность; $y^2 + (x + 2a)^2 = 16a^2$. См. рис. 70. **11.182.** $A = q\sqrt{\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}} \times \left(\sqrt{E_B} - \sqrt{E_A}\right)$. **11.183.** $A = 0{,}2$ Дж. **11.184.** $A = \frac{q_1q_2(n-1)}{4\pi\varepsilon_0 nr} = 1{,}44$ мкДж. **11.185.** $A = \frac{q(q_1 - q_2)}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\sqrt{r^2 + d^2} - d}{d\sqrt{r^2 + d^2}} \approx -0{,}36$ Дж. **11.186.** $r_B = \frac{eqr_A}{eq + 2\pi\varepsilon_0 r_A m_e \upsilon^2} = 0{,}12$ м; $W = \frac{m\upsilon^2}{2} + \frac{eq(r_C - r_A)}{4\pi\varepsilon_0 r_C r_A} = 5{,}54$ эВ. **11.187.** $E = \frac{q_{He}q_N}{4\pi\varepsilon_0 r} \times \frac{A_{He} + A_N}{A_N} = 5{,}2$ МэВ. **11.188.** $\upsilon_2 = \frac{q\left(\sqrt{n+1} - \sqrt{n-1}\right)}{2\sqrt{2\pi\varepsilon_0 rmn}} = 2{,}26$ м/с; $\upsilon_1 = \frac{q\left(\sqrt{n+1} + \sqrt{n-1}\right)}{2\sqrt{2\pi\varepsilon_0 rmn}} = 13{,}2$ м/с. **11.189.** $A = 3mgh = 0{,}88$ мДж.

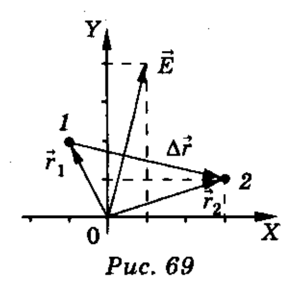


Рис. 69

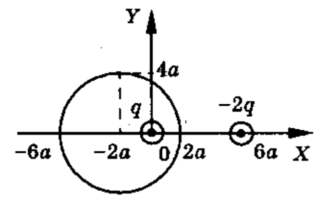


Рис. 70

11.190. $v = \sqrt{2gl(1 - \cos\alpha) + \dfrac{qq_0\left(l + h - \sqrt{l^2 + h^2 + 2lh\cos\alpha}\right)}{2\pi\varepsilon_0 m(l + h)\sqrt{l^2 + h^2 + 2lh\cos\alpha}}} = 0{,}61$ м/с; $T = mg + \dfrac{q_0 q}{4\pi\varepsilon_0(l+h)^2} + \dfrac{mv^2}{l} = 2{,}6$ мН. **11.191.** $F = \sqrt{\left[3mg + \dfrac{kq^2}{l^2}\left(1 - \dfrac{1}{\sqrt{5}}\right)\right]^2 + \left(\dfrac{kq^2}{l^2}\right)^2}$.

11.192. $E = \dfrac{mg}{q} - \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 l^2\sqrt{3}}$. **11.193.** $Q = mgl\left(\dfrac{2\cos 2\alpha}{\cos\alpha} - 1 + \dfrac{2\sqrt{2}\sin^3\alpha}{\cos\alpha}\right) = 0{,}56mgl$. **11.194.** а) $v = \sqrt{5gl - \dfrac{27kqQ}{125ml^2}} = 5{,}1$ м/с; б) $v = \sqrt{5gl + \dfrac{\sqrt{5}kq^2}{25ml^2}} = 7{,}2$ м/с. **11.195.** $v = \dfrac{q}{2}\sqrt{\dfrac{1 - \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\pi\varepsilon_0 mR\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}} = 10$ м/с. **11.196.** $v_{max} = \sqrt{gR\left(2\cos\alpha - \dfrac{1}{2}\mathrm{tg}\,\alpha\right)} \approx 2{,}4$ м/с. **11.197.** $v = \sqrt{5gR + \dfrac{q|Q|}{4\pi\varepsilon_0 mR}} \approx 2{,}3$ м/с.

11.198. а) $Q = 20\pi\varepsilon_0 R^2\left(E - \dfrac{mg}{q}\right)$; б) $Q = -20\pi\varepsilon_0 R^2\left(E + \dfrac{mg}{q}\right)$. **11.199.** $\dfrac{v_{пр}}{v_л} = \sqrt{\dfrac{\sqrt{x^2 + y^2} - y}{\sqrt{x^2 + y^2} - x}} = 2{,}83$, где x, y — координаты пересечения стержня и соответствующей оси. **11.200.** $v = \sqrt{2gh + \dfrac{q^2(1 - \mathrm{ctg}\,\alpha)}{2\pi\varepsilon_0 hm\,\mathrm{ctg}\,\alpha}}$; если $h_1 = \dfrac{q}{2} \times \sqrt{\dfrac{\mathrm{ctg}\,\alpha - 1}{\pi\varepsilon_0 mg\,\mathrm{ctg}\,\alpha}}$ при $\alpha < 45°$. **11.201.** $Q = \dfrac{4\pi\varepsilon_0 mgl^2\mathrm{tg}\,\alpha}{q} = 3{,}02$ мкКл, отрицательный, $v = \sqrt{2gl\left(\dfrac{1}{\cos\alpha} - \mathrm{tg}\,\alpha - \dfrac{1}{2}\sin 2\alpha\right)} = 0{,}58$ м/с. **11.202.** $H = \dfrac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 amg} - \dfrac{a\,\mathrm{tg}\,\alpha}{2}$ при $l \geqslant b$, где $b = \dfrac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 amg\sin\alpha} - \dfrac{a}{2\cos\alpha}$; при $l < b$ $H = \dfrac{l\sin 2\alpha}{2} \times \left(\cos\alpha + \dfrac{q^2\sin\alpha}{4\pi\varepsilon_0 mga(a + 2l\cos\alpha)}\right)$. **11.203.** $v = \left(\dfrac{q}{2\sqrt{\pi\varepsilon_0 mg}} - l\right)\sqrt{\dfrac{2g}{l}}$. **11.204.** $v_{max} = \dfrac{q}{2\sqrt{\pi\varepsilon_0 ml}} - \sqrt{\mu gl}$. **11.205.** $v_{max} = \sqrt{\dfrac{q_1 q_2}{2\pi\varepsilon_0 ml_2}\left[\dfrac{l_2 - l_1}{l_1} + \dfrac{2l_0(l_2 - l_1) + l_1^2 - l_2^2}{2l_2(l_2 - l_0)}\right]} \approx$

$\approx 7{,}7$ м/с. **11.206.** $Q = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{l_0} - \frac{3}{2l} + \frac{l_0}{2l^2}\right) = 0{,}135$ Дж. **11.207.** $W = -\frac{5q^2}{4\pi\varepsilon_0 a}$.

11.208. $A = \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 a} = 2{,}25 \cdot 10^{-8}$ Дж. **11.209.** а) $v = \frac{q}{\sqrt{\pi\varepsilon_0 ma}} = 6$ м/с; б) $v = \frac{q}{\sqrt{2\pi\varepsilon_0 ma}} = 4{,}2$ м/с. **11.210.** У крайних шариков $v = \sqrt{\frac{5kq^2}{2ml} - 2\sqrt{\frac{5kq^2\mu g}{m}} + 2\mu g l} = 19{,}7$ м/с; у среднего — $v = 0$. **11.211.** $v_1 = v_3 = \frac{q}{2\sqrt{6\pi\varepsilon_0 lm}} = 1{,}94$ м/с; $v_2 = -2v_1 = -3{,}87$ м/с. **11.212.** $A = -\frac{q^2\sqrt{2}}{4\pi\varepsilon_0 a}(\sqrt{2} - 1) = -52{,}7$ Дж. **11.213.** $v = \frac{q}{2}\sqrt{\frac{3}{2\pi\varepsilon_0 ma}} = 3 \cdot 10^{-3}$ м/с. **11.214.** $\varphi = \frac{q}{2\varepsilon_0\sqrt{\pi S}} = 3{,}19$ кВ. **11.215.** $Q = 0{,}59$ мкКл; $\varphi = 828$ МВ. **11.216.** $\varphi = E\frac{a^2}{R} = 179{,}2$ В; $\sigma = \frac{\varepsilon_0 E a^2}{R^2} = 1{,}44 \cdot 10^{-7}$ Кл/м^2. **11.217.** $\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r_2}\right) = 225$ В. См. рис. 71. **11.218.** $\eta = \frac{3\varepsilon_0\varphi\mu}{ze\rho R^2 N_A} = 6{,}8 \cdot 10^{-13}$, где ρ — плотность меди. **11.219.** $\varphi = \frac{A(r + R)}{qR} = 300$ В. **11.220.** $A = \frac{\sigma q R}{\varepsilon_0} = 1{,}13 \cdot 10^{-9}$ Дж. **11.221.** $v = \sqrt{\frac{2e\varphi}{m_e}} = 10^7$ м/с. **11.222.** $\varphi_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q}{r} + \frac{Q}{R}\right)$; $\varphi_2 = \frac{q + Q}{4\pi\varepsilon_0 R}$. **11.223.** $R = \frac{4q_1 + 3q_2}{24\pi\varepsilon_0\varphi} = 0{,}5$ м. См. рис. 72. **11.224.** $\varphi_1 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R}$; $\varphi_2 = \frac{q}{8\pi\varepsilon_0 R}$; $\varphi_3 = 0$.

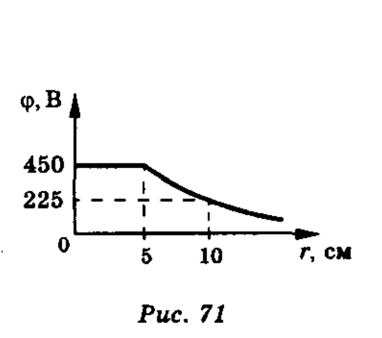


Рис. 71

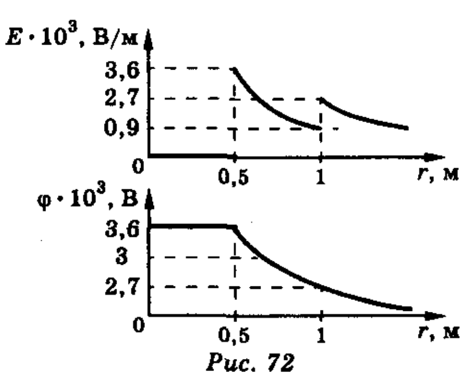


Рис. 72

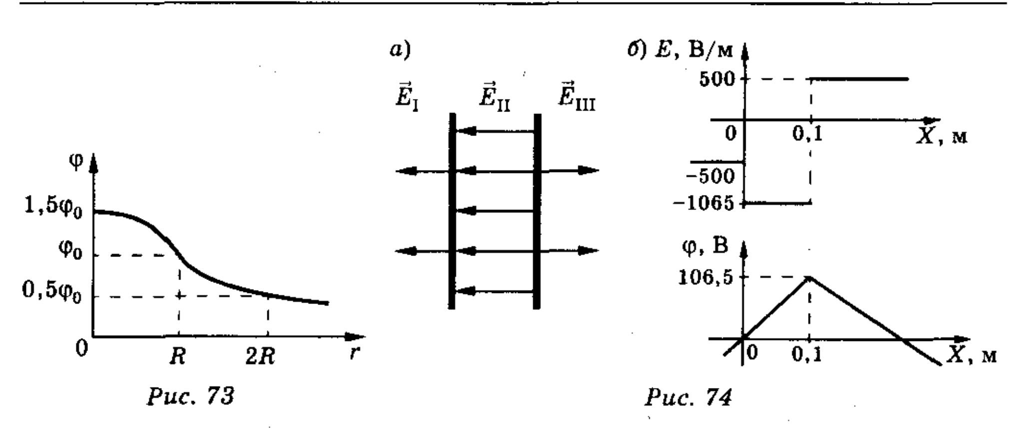


Рис. 73

Рис. 74

11.225. $\varphi_0 = \dfrac{\rho}{3\varepsilon_0}R^2$; а) $r \leqslant R$, $\varphi = \dfrac{\rho}{6\varepsilon_0}(3R^2 - r^2)r^2$; б) $r \geqslant R$, $\varphi = \dfrac{\rho R^3}{3\varepsilon_0}\dfrac{1}{r}$. См. рис. 73. **11.226.** а) $E_{\text{I}} = -500$ В/м; $E_{\text{II}} = -1065$ В/м; $E_{\text{III}} = 500$ В/м; б), в) $\Delta\varphi = 106{,}5$ В. См. рис. 74. **11.227.** $A = \dfrac{\sigma_1}{2\varepsilon_0}|\sigma_2| \cdot S(d - d_0) = 10^{-5}$ Дж.

11.228. $\varphi_A - \varphi_B = \dfrac{\sigma_1 b - \sigma_2 a}{2\varepsilon_0} = -1{,}1$ кВ. **11.229.** $E = \dfrac{m_e\omega^2 r}{e} = 4{,}5 \cdot 10^{-8}$ В/м; $\Delta\varphi = \dfrac{m_e\omega^2R^2}{2e} = 1{,}8 \cdot 10^{-8}$ В. **11.230.** $\varphi = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0\sqrt{R^2 + x^2}}$; $\varphi_0 = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 R}$.

См. рис. 75. **11.231.** $v = \sqrt{\dfrac{e\gamma}{\varepsilon_0 m_e}}$. **11.232.** $v = \sqrt{\dfrac{(\sqrt{5} - 1)e\gamma}{\sqrt{5}\varepsilon_0 m_e}}$. **11.233.** $v = \sqrt{\dfrac{e\gamma}{\varepsilon_0 m_e}\left(1 - \dfrac{1}{\sqrt{2}}\right)} = 0{,}96$ Мм/с. **11.234.** $A = \dfrac{Q(q_1 - q_2)}{4\pi\varepsilon_0}\left(\dfrac{1}{R} + \dfrac{1}{\sqrt{R^2 + d^2}}\right)$.

11.241. Да. **11.242.** Больше в случае разноименных зарядов. **11.243.** $Q = \dfrac{q}{2}$.
11.244. $E = 0$; $q = \varepsilon_0 ES$. **11.245.** $q_1 = 2q$; $q_2 = -q$; $q_3 = q$; $q_4 = 2q$. См. рис. 76.

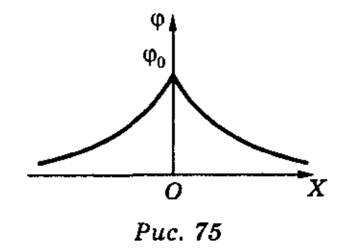


Рис. 75

$2q$ $-q$ q $2q$

Рис. 76

Ответы

11.246. $\Delta\varphi = \dfrac{\Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2}{d}a$. **11.247.** $E_A = -0{,}56\cdot10^5$ В/м; $E_B = 0$; $E_C = -2{,}8\cdot10^5$ В/м; $E_D = 0$; $E_N = 0{,}56\cdot10^5$ В/м. **11.248.** $\Delta q = \dfrac{q(d-2a)}{2d}$.

11.249. $\Delta\varphi = \dfrac{q(d-a)}{\varepsilon_0 dS}$. **11.250.** $F = \dfrac{q^2}{16\pi\varepsilon_0 a^2}$; $E = \dfrac{0{,}2q}{\pi\varepsilon_0 a^2}$; $\varphi = \dfrac{0{,}14q}{\pi\varepsilon_0 a^2}$. **11.251.** $A = \dfrac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 l}$. **11.252.** а) $A = 0$; б) $A = \dfrac{q^2\Delta l}{8\pi\varepsilon_0 l(l+\Delta l)} = 2{,}25$ мДж; в) $A = \dfrac{q^2\Delta l\sin\alpha}{8\pi\varepsilon_0 l(l+\Delta l\sin\alpha)} = 1{,}5$ мДж. **11.253.** $\varphi = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 R}$. **11.254.** $q_1 = -4\pi\varepsilon_0\Delta\varphi_2 l = -7{,}3\cdot10^{-8}$ Кл; $q_2 = 4\pi\varepsilon_0\Delta\varphi_1 l = 4{,}2\cdot10^{-8}$ Кл. **11.255.** $\varphi = -\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0}\times\dfrac{(3R^2+4Rr+r^2)}{(2R+r)^3}$. **11.256.** а) $0 \leqslant r \leqslant R_1$; $E_1 = 0$; $\varphi_1 = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\times\left(\dfrac{1}{R_1} - \dfrac{1}{R_2} + \dfrac{1}{R_3}\right)$; б) $h_1 \leqslant r \leqslant R_2$; $E_2 = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{1}{r^2}$; $\varphi_2 = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\dfrac{1}{r} - \dfrac{1}{R_2} + \dfrac{1}{R_3}\right)$; в) $R_2 \leqslant r \leqslant R_3$; $E_3 = 0$; $\varphi_3 = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R_3}$; г) $r \geqslant R_3$; $E_4 = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$; $\varphi_4 = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$. См. рис. 77. **11.257.** $\varphi_1 = \varphi\times\dfrac{R_1}{R_2}$. **11.258.** $\varphi_1 = \varphi\dfrac{n-1}{n}$. **11.259.** $\varphi = \dfrac{Q(R-r)}{4\pi\varepsilon_0 R^2} = 225$ В. **11.260.** $\Delta q = \dfrac{QR_1R_2}{(R_1+R_2)(3R_1+2R_2)}$.

Рис. 77

11.261. $\varepsilon = \dfrac{E_0}{E} = 81$. **11.262.** $E_0 = \varepsilon_{\text{т}}E_{\text{т}} = 420$ В/м; $E_{\text{c}} = \dfrac{E_{\text{т}}\cdot\varepsilon_{\text{т}}}{\varepsilon_{\text{т}}} = 70$ В/м. **11.263.** $F = \dfrac{k|q_1|\cdot|q_2|}{\varepsilon r^2} = 3$ мН. **11.264.** $q = 18{,}8$ нКл.

11.265. Увеличить в $\sqrt{\varepsilon} = 9$ раз. **11.266.** $F = 7{,}4\cdot10^{-3}$ Н; $r \approx 29$ см. **11.267.** $\rho_{\text{ш}} = \dfrac{\varepsilon\rho}{\varepsilon-1} = 1{,}2$ г/см^3. **11.268.** $\rho = \dfrac{\varepsilon\rho_0}{\varepsilon-1}$. **11.269.** $T = \dfrac{q^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon l^2} - \dfrac{mg}{3}$. **11.270.** $l = \dfrac{e\rho_{\text{Al}}RN_{\text{A}}}{MN_0}\sqrt{\dfrac{R}{3\varepsilon_0\varepsilon g(\rho_{\text{Al}}-\rho_{\text{к}})}} = 9{,}68$ м, где $N_0 = 10^9$. **11.271.** $\varepsilon = \dfrac{\varepsilon_0 r^2}{R^2} = 3{,}2$.

11.272. $\varepsilon = 2$. **11.273.** $r = 20$ см. **11.274.** $q = ER^2 4\pi\varepsilon_0 = 3{,}6 \cdot 10^{-7}$ Кл; $\Delta R = \dfrac{R(\sqrt{\varepsilon} - 1)}{\sqrt{\varepsilon}} = 2{,}6$ см. **11.275.** $E_0 = \dfrac{kq}{R_1^2} = 18$ кВ/м; $E_{02} = \dfrac{kq}{R_2^2} = 12{,}5$ кВ/м; $E_2 = \dfrac{E_{02}}{\varepsilon} = 5$ кВ/м; $E_{03} = \dfrac{kq}{(R^2 + d)^2} = 6{,}2$ кВ/м; $E_3 = \dfrac{E_{03}}{\varepsilon} = 2{,}5$ кВ/м. См. рис. 78. **11.276*.** $q' = -q\dfrac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}$.

Рис. 78

11.277*. $q_1 = -q\dfrac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}$ (вблизи $+q$); $q_2 = q\dfrac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}$ (вблизи $-q$). **11.278*.** $q' = q\dfrac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} > 0$. **11.279*.** $q = -4\pi R^2\sigma\dfrac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} = -3{,}14 \cdot 10^{-11}$ Кл. **11.280*.** $\sigma = E_0\varepsilon_0\dfrac{\varepsilon}{\varepsilon + 1}$. **11.281*.** $\sigma' = -\sigma\dfrac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}$. **11.282*.** $\sigma' = -\sigma\dfrac{\varepsilon - 1}{2\varepsilon}$.

11.283*. $\Delta\varphi = \dfrac{(q_2 - q_1)d}{2\varepsilon_0\varepsilon S}$. **11.284.** $\varphi = \dfrac{q}{C} = 100$ В. **11.285.** $C = 0{,}5$ пФ. **11.286.** $C = 4\pi\varepsilon_0 R$. **11.287.** $R = kC = 9 \cdot 10^9$ м. $\dfrac{R}{R_3} = 1{,}4 \cdot 10^3$. **11.288.** $q = 2\pi\varepsilon_0 d\varphi \approx 2 \cdot 10^{-10}$ Кл. **11.289.** $\Delta\varphi = 6$ кВ. **11.290.** $q = 8{,}8$ нКл. **11.291.** $\varphi_1 = \dfrac{kq_1}{R_1} = 1{,}53$ кВ; $\varphi_2 = \dfrac{kq_2}{R_2} = 1{,}35$ В; $\varphi_1 > \varphi_2$, да. **11.292.** $q_1 = 250$ нКл; $q_2 = 300$ нКл; $\varphi = 45$ кВ. **11.293.** $\sigma_1 = \dfrac{\varepsilon_0(R_1\varphi_1 + R_2\varphi_2)}{R_1(R_1 + R_2)} = 1{,}5 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2; $\sigma_2 = \dfrac{\varepsilon_0(R_1\varphi_1 + R_2\varphi_2)}{R_2(R_1 + R_2)} = 2{,}9 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2. **11.294.** $q_1' = \dfrac{(q_1 + q_2)C_1}{C_1 + C_2} = 100$ нКл; $q_2' = \dfrac{(q_1 + q_2)C_2}{C_1 + C_2} = 300$ нКл; $\varphi = 10$ кВ. **11.295.** $\varphi = \dfrac{R_1\varphi_1 + R_2\varphi_2}{R_1 + R_2} = 37{,}5$ В; $\Delta q = \dfrac{4\pi\varepsilon_0 R_1 R_2(\varphi_1 - \varphi_2)}{R_1 + R_2} = 8{,}75 \cdot 10^{-11}$ Кл. **11.297.** $q_1 = \dfrac{1}{6}q$; $q_2 = \dfrac{1}{3}q$; $q_3 = \dfrac{1}{2}q$.

11.298. а) Уменьшится в $\dfrac{(n + 1)^2}{4n} = 1{,}8$ раза; б) уменьшится. **11.299.** φ увеличится в $\sqrt[3]{n^2} = 16$ раз, σ увеличится в $\sqrt{n} = 4$ раза. **11.300.** $\varphi = \varphi_0\sqrt[3]{N^2}$.

Ответы

11.301. $\Delta T = \dfrac{3\varepsilon_0\varphi^2}{2c\rho R^2} = 63$ мкК, где c — удельная теплоемкость, ρ — плотность ртути. **11.302.** $N = \dfrac{2\pi\varepsilon_0 R m_e v^2}{e^2} \approx 10^8$. **11.303*.** $C = \dfrac{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R_1 R_2}{R_2 - R_1} = 5{,}1 \cdot 10^{-11}$ Ф; $R = \dfrac{R_1 R_2}{R_2 - R_1} = 0{,}21$ м. **11.304.** $C = \dfrac{\varepsilon\varepsilon_0\pi D^2}{4d} = 556$ пФ. **11.305.** $d = 1$ см. **11.306.** 1) а) Уменьшится; б) не изменится; в) увеличится; 2) а) уменьшится; б) уменьшится; в) не изменится. **11.307.** $q = \dfrac{\varepsilon\varepsilon_0 SU}{d} = 1{,}6$ мкКл. **11.308.** $U_2 = U_1\dfrac{d_2}{d_1} = 100$ В. **11.309.** $F = \dfrac{\varepsilon_0 SU^2}{2d^2} = 1{,}2$ мН. **11.310.** $C_1 = \dfrac{C_2U_2}{U_1 - U_2} = 1$ мкФ. **11.311*.** $n \geqslant \dfrac{\ln 2}{\ln\left(\dfrac{C + C_1}{C}\right)}$. **11.312.** $C_1 = C_2 \times \dfrac{U_2 - U}{U - U_1} = 4$ мкФ. **11.313.** $U = \dfrac{C_1U_1 + C_2U_2}{C_1 + C_2} = 20$ В. **11.314.** $U = \dfrac{2}{3}U_0 = 4$ В. **11.315.** $\Delta q = \dfrac{CU}{3} = 10^{-6}$ Кл. **11.316.** $\varepsilon = \dfrac{U_1}{U} - 1 = 6$. **11.317.** $C = \dfrac{\varepsilon_0 S}{2d}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)$. **11.318.** $\Delta d = \dfrac{d(\varepsilon - 1)}{2} = 6 \cdot 10^{-3}$ м. **11.319.** $x = \dfrac{\varepsilon h(E_{\text{пр}}d - U)}{(\varepsilon - 1)E_{\text{пр}}d}$. **11.320.** $U = \dfrac{-1 + \sqrt{1 + 4\alpha U_0}}{2\alpha} = 12$ В. **11.321.** $C_1 = \dfrac{CC_2}{C_2 - C} = 200$ пФ. **11.322.** $U_1 = \dfrac{UC_2}{C_1 + C_2} = 80$ В; $U_2 = 40$ В. **11.323.** $\dfrac{E_2}{E_1} = \dfrac{2}{\varepsilon + 1} = 0{,}4$. **11.324.** $C = \dfrac{\varepsilon_0\varepsilon_1\varepsilon_2 S}{\varepsilon_1 d_2 + \varepsilon_2 d_1}$. **11.325.** $\varepsilon = 2$ (емкость уменьшится). **11.326.** $n = \dfrac{\varepsilon + 2}{3} = 2{,}7$. **11.327.** $C_1 = C\dfrac{\varepsilon d}{\varepsilon d - h(\varepsilon - 1)}$. **11.328.** $E = \dfrac{\varepsilon U}{\varepsilon d - vt(\varepsilon - 1)}$. **11.329.** $C_1 = \dfrac{Cd}{d - h}$. **11.330.** $C = \dfrac{\varepsilon_0 S_0(S(\varepsilon - 1) + S_0)}{S(\varepsilon - 1)(d_0 - d) + d_0 S_0}$. **11.331.** Один: $C = 12$ мкФ, $U = 600$ В. Два, три: а) параллельно $C = 24$ мкФ, $U = 600$ В; $C = 36$ мкФ, $U = 600$ В; б) последовательно $C = 6$ мкФ, $U = 1200$ В; $C = 4$ мкФ, $U = 1800$ В; в) смешанно

$C = 18$ мкФ, $U = 600$ В; $C = 8$ мкФ, $U = 900$ В. **11.332.** $C = \frac{C_0}{n^2} = 1$ мкФ.

11.333. при $\varepsilon < 2$ $C_x = C(2 - \varepsilon)$, параллельно; при $\varepsilon > 2$ $C_x = C\frac{\varepsilon + 1}{\varepsilon - 2}$, последовательно. **11.334.** $q_1 = \frac{C_1(C_2 + C_3)U}{C_1 + C_2 + C_3}$; $q_2 = \frac{C_1C_2U}{C_1 + C_2 + C_3}$; $q_3 = \frac{C_1C_3U}{C_1 + C_2 + C_3}$; $U_1 = \frac{U(C_2 + C_3)}{C_1 + C_2 + C_3}$. **11.335.** $C = 2{,}5$ мкФ. **11.336.** $C_x = \frac{C}{2} = 20$ пФ.

11.337. а) $C_0 = \frac{6C}{7}$; б) $C_0 = \frac{3C}{5}$; в) $C_0 = \frac{5C}{8}$; г) $C_0 = 6C$; д) $C_0 = 2{,}2C$. **11.338.** $\varphi_0 = \frac{C_1\varphi_1 + C_2\varphi_2 + C_3\varphi_3}{C_1 + C_2 + C_3}$. **11.339.** а) $C_0 = \frac{2C_1C_2}{C_1 + C_2}$; б) $C_0 = C$. **11.340.** а) $C_0 = \frac{6}{5}C$; б) $C_0 = \frac{12}{7}C$. **11.341.** $C_x = \frac{C}{2}(\sqrt{5} - 1)$. **11.342.** $\varphi_A - \varphi_B = \frac{UC(C_2 - C_1)}{(C_1 + C)(C_2 + C)} = 15$ В.

11.343. а) $E = 5$ кВ/м; б) $F = \frac{CU^2}{2d} = 4{,}5 \cdot 10^{-4}$ Н; в) $W = \frac{CU^2}{2} = 18$ мкДж; г) $w = \frac{\varepsilon_0U^2}{2d^2} = 1{,}1 \cdot 10^{-4}\ \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$. **11.344.** $\frac{W_1}{W_2} = \frac{C_2}{C_1}$. **11.345.** $Q = 1$ Дж. **11.346*.** $Q = 2\pi\varepsilon_0R\varphi^2 = 5{,}5 \cdot 10^{-5}$ Дж. **11.347.** $W = 36$ Дж; $N = 15$ кВт. **11.348.** $w = 88$ мДж/м^3. **11.349.** а) Уменьшится в 2,2 раза. Энергия расходуется на поляризацию диэлектрика; б) увеличится в 2,2 раза. Энергия пополняется за счет источника тока. **11.350.** а) q не изменится, U уменьшится в 2 раза, E не изменится, W уменьшится в 2 раза; б) q, E, W увеличатся в 2 раза, U не изменится. **11.351.** Уменьшится в 4 раза. **11.352.** $A = \frac{q^2}{4C} = 25$ мкДж.

11.353. $C_x = C = 1$ мкФ; $W_{max} = \frac{CU^2}{8} = 50$ мкДж. **11.354.** $C_x = 2C = 4$ мкФ; $W_{max} = \frac{C\mathscr{E}^2}{16} = 5 \cdot 10^{-5}$ Дж. **11.355.** $F = wS = 3$ Н. **11.356.** $W = 2{,}2 \cdot 10^{-2}$ Дж.

11.357. $Q = \frac{C_1C_2(U_1 - U_2)^2}{2(C_1 + C_2)} = 0{,}5$ мДж. **11.358.** $A = W(\varepsilon - 1)$. **11.359*.** а) $A = 10^{-4}$ Дж; б) $A = 0{,}5 \cdot 10^{-4}$ Дж; $A_и = -10^{-4}$ Дж. Энергия конденсатора убывает, следовательно, источник получает энергию. Источник будет заряжаться (аккумулятор) или нагреваться. **11.360.** $A = \frac{CU^2}{2}\,\frac{\eta}{1 - \eta} = 62{,}5$ мкДж;

$A_и = -2A = -125$ мкДж. **11.361.** $A = 2W = 2$ Дж. **11.362.** $A = -\frac{Q^2}{2C}$. **11.363.** $U = d\sqrt{\frac{2k(d_0 - d)}{\varepsilon_0 S}}$. **11.364.** $T = 2\pi\sqrt{\frac{m(d_0 - A)}{k(d_0 + A)}} = 0{,}19$ с; $U = (d_0 - A) \times \sqrt{\frac{2kA}{\varepsilon_0 S}} = 11$ кВ. **11.365.** $v = U\sqrt{\frac{C}{3M}}$. **11.366.** $Q = \varepsilon_0 SE$. **11.367.** $A = \frac{\varepsilon_0 E_0^2 dS}{2}$. **11.368.** $A = \varepsilon_0 dSEE_0$. **11.369.** $A = \frac{-\varepsilon_0(E_0 - E)^2 d_0 S}{2}$. **11.370.** $E = 20{,}8$ кВ/м; $U = 833$ В; $F_0 = 7{,}8$ мН; $W = 0{,}3$ Дж; $w = 2$ мДж/м^3. **11.371.** $s = 6{,}9$ см. **11.372.** $U = \frac{mv^2}{2e} = 285$ В; любое. **11.373.** $l_{max} = d\sqrt{\frac{2CW}{qQ}}$. **11.374.** $U = \frac{Wd\sin 2\alpha}{el} = 150$ В. **11.375.** $E_к = \frac{eUl}{2d\cos^2\alpha_1(\operatorname{tg}\alpha_1 + \operatorname{tg}\alpha_2)} = 1$ кэВ. **11.376.** $\Delta t = \frac{l}{v}\left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right) = 0{,}29\frac{l}{v}$. **11.377*.** $v = \sqrt{\frac{2e\Delta\varphi}{m_e} + \left(\frac{\alpha l^2}{4d\Delta\varphi}\right)^2}$. **11.378.** $x = \frac{eUl}{2dE_к}\left(\frac{l}{2} + H\right)$. **11.379.** $x = \frac{bU}{2dU_а}\left(\frac{b}{2} + l\right) = 5{,}1$ см. **11.380.** $U = \frac{Q}{2\varepsilon_0 S}(b - a)$. **11.381.** $\Delta q = \frac{aq}{d - b}$. **11.382.** $\Delta q = \frac{q(2a + b - d)}{2(d - b)}$. **11.383.** $\Delta q = \frac{q\Delta l}{d}$. **11.384.** $\frac{W'}{W} = 2$. **11.385.** $Q = \frac{dq^2}{\varepsilon_0 S} = 27{,}1$ Дж. **11.386.** $A = \frac{dq^2}{2\varepsilon_0 S} = 6{,}78$ Дж. **11.387.** $\Delta W = \frac{dS\sigma_1\sigma_2}{2\varepsilon_0} = 1$ мкДж. **11.388.** $W = \frac{Fd}{3} = 1$ мкДж. **11.389.** $|q_{1,2}| = S\sqrt{2\varepsilon_0\omega} \times \left(1 \mp \sqrt{1 - \frac{F}{\omega S}}\right)$; $q_1 = \pm 18{,}8$ нКл; $q_2 = \mp 37{,}6$ нКл. **11.390.** $\frac{W_2}{W_1} = \frac{2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}{(\sigma_1 - \sigma_2)^2} = 50$. **11.391.** $F = -\frac{4\Delta W}{d} = -1$ Н; знак «–» означает, что сила направлена к первой пластине.

12. Постоянный ток

12.1. Ток в стержне электроскопа появляется во всех указанных случаях. **12.2.** Да. **12.3.** Да. **12.4.** Нет. **12.6.** Не потечет, т. к. цепь разомкнута. **12.7.** Можно. Решение. На дно сосуда из изоляционного материала нужно поместить металлическую пластинку с припаянным к ней изолированным проводником. Сосуд частично заполнить крепким водным раствором

какой-либо соли или кислоты. Поверх этого раствора налить раствор щелочи, в который погрузить вторую пластинку, предварительно припаяв к ней такой же проводник, как и к нижней пластинке. Присоединив свободные концы проводников к измерительному прибору или к маловольтной (1 В) электрической лампе, можно убедиться в том, что полученное устройство является источником тока. **12.11.** I = 1 А; t = 10 мин. **12.12.** t = 100 с. **12.13.** $q = \frac{1}{2}It$ = 25 Кл. **12.14.** $q = I_0t_2 + \frac{at_2^2}{2}$ = 8 Кл. **12.15.** $j = 8{,}8 \cdot 10^5$ А/м². **12.16.** $N = \frac{It}{e} = 2 \cdot 10^{17}$, где e — заряд электрона. **12.17.** С поворотом выключателя в проволоке возникает электрическое поле, распространяющееся со скоростью, близкой к скорости света, c = 300 000 км/с, что и приводит в движение электроны проводимости практически мгновенно. **12.18.** Нет, $l \leqslant 30$ см. **12.20.** $\langle I\rangle = \frac{CU}{t}$ = 0,1 А. **12.21*.** $I = \frac{\varepsilon_0 U v\sqrt{S}(\varepsilon - 1)}{d}$ = 10,6 нА. **12.22*.** $I = \frac{CUv}{d}$ = 1 А. **12.23*.** $I = \frac{20\varepsilon_0 S\mathscr{E}}{(0{,}1 - 20t)^2}$; I_0 = 1,53 нА. **12.24*.** $I = \frac{Qv}{2d_0}$. **12.25.** $I = \frac{e^2}{4\pi R\sqrt{\pi\varepsilon_0 m_e R}}$ = 1,1 мА. **12.26.** $R = \frac{Ze^4}{4\pi\varepsilon_0 j^2}$. **12.27.** R = 1,3 Ом. **12.28.** l = 200 м. **12.29.** R = 320 Ом. **12.30.** Алюминиевая. **12.31.** $R = \frac{16m\rho}{\pi^2 Dd^4}$ = 7,5 Ом, D — плотность стали. **12.33.** $R = \frac{\varepsilon\varepsilon_0\rho}{C}$. **12.34.** а) $4r$; б) $\frac{r}{4}$; в) r; г) r; д) $1{,}3r$; е) $2{,}5r$; ж) $1{,}7r$; з) $0{,}6r$; и) $0{,}4r$. **12.35.** $R_{AB} = \frac{R}{2}$. **12.36.** 2, 3, 4, 6, 9, 12, 18 кОм. **12.37.** Уменьшилось в 4 раза. **12.38.** R = 0,051 Ом. **12.39.** $\frac{x}{l} = \frac{1}{2}\left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4r}{R}}\right)$; $\frac{x_1}{l}$ = 0,8; $\frac{x_2}{l}$ = 0,2. **12.40.** а) $R_0 = R$; б) $R_0 = \frac{R}{3}$. **12.41.** $r_1 = \frac{R_1 + \sqrt{R_1^2 - 4R_1R_2}}{2}$ = 3 Ом; r_2 = 2 Ом. **12.42.** Увеличится в $k = \frac{(n+1)^2}{n}$ раз. **12.43.** $R_0 = \frac{\sqrt{2}r}{1 + \sqrt{2}}$. **12.44.** $R_0 = \frac{4}{5}r$. **12.45.** $R_{AB} = \frac{5}{6}R$; $R_{AC} = \frac{7}{12}R$; $R_{AD} = \frac{3}{4}R$. **12.46.** $R_0 = 2R(1 + \sqrt{3})$. **12.47.** $R_0 = R(\sqrt{3} - 1)$.

12.49. Расчет производят по формуле $R = U/I$, где U — напряжение на сопротивлении R, а I — сила тока в нем. Однако амперметр (см. рис. 12.14, *а*) измеряет не ток в сопротивлении R, а сумму токов в R и вольтметре. Вольтметр же измеряет напряжение не на сопротивлении R (см. рис. 12.14, *б*),

20—1695

Ответы

а на участке, в который входит сопротивление R и амперметр. В результате точность измерения небольшая. **12.51.** В 6 раз увеличится. **12.53.** $U = I\left(\rho_1\frac{l_1}{S_1} + \rho_2\frac{l_2}{S_2}\right) = 1{,}8$ В. **12.54.** $U = 0{,}48$ В. **12.55.** $U_{AC} = 27$ В; $U_{AB} = 24$ В; $U_{BC} = 3$ В. **12.56.** $I = 2$ А; $U = 4$ В. **12.57.** $U_в = U\frac{R_в}{R_1 + R_2 + R_в} = 16{,}6$ В. **12.58.** $R_1 : R_2 : R_3 = 1 : 2 : 3$. **12.59.** 21 или 22 лампы. **12.60.** $I = 0{,}2$ А; $U_{AB} = 4{,}6$ В. **12.61.** $R = 50$ Ом. **12.62.** $l = \frac{(U_2 - U_1)SR_1}{\rho U_1} = 100$ м. **12.63.** Второй. **12.64.** $I = 0{,}8$ А; $U = 8$ В. **12.65.** $R_1 = 9$ Ом; $R_2 = 3$ Ом. **12.68.** При замкнутом ключе показание амперметра в 1,5 раза больше. **12.69.** В серебряном проводе сила тока наибольшая, в железном — наименьшая. **12.70.** $R = 5$ Ом. **12.72.** $R_2 = 300$ Ом; $I_{A1} = 1{,}2$ А; $I_{A2} = 0{,}4$ А. **12.73.** $I = 34$ мА. **12.74.** $R = \frac{U - U_0}{4I} = 2$ Ом. **12.75.** $R_1 = R_2 = 100$ Ом, $R_3 = 400$ Ом; $U_{2,3} = 40$ В, $I_2 = 0{,}4$ А, $I_3 = 0{,}1$ А. **12.76.** $U_2 = U_3 = 30$ В; $U_1 = 10$ В; $U_4 = 20$ В, $U_{AB} = 60$ В, $I_1 = I_4 = 5$ А; $I_2 = 3$ А; $I_3 = 2$ А. **12.77.** $R_0 = 57{,}7$ Ом, $I_1 = I_2 = 1{,}73$ А, $I_3 = 1{,}3$ А, $U_1 = U_2 = 36{,}4$ В, $U_3 = 27{,}3$ В, $I_4 = I_5 = I_6 = 0{,}43$ А, $U_4 = U_5 = U_6 = 9{,}09$ В. **12.78.** $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 30$ Ом. **12.79.** $\frac{U_2}{U_1} = \frac{10}{9}$. **12.80.** $I = \frac{UR_2}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3} = 3$ мА. **12.81.** $R = r$. **12.82.** $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 6$ А; $I_5 = 0$. **12.83.** Не изменится. **12.84.** $R_ш = \frac{nNR}{I - nN} = 20$ Ом. **12.85.** $I = \frac{n_1n_2N}{n_1 + n_2} = 0{,}67$ А. **12.86.** $\frac{I_0}{I_V} = 6{,}4$. **12.87.** $r = \frac{RU_1}{U - U_1} = 2500$ Ом; $R_x = \frac{RU_1(U - U_2)}{U_2(U - U_1)} = 60$ кОм. **12.88.** $\Delta\varphi = U\left(1 + \frac{R_д}{R}\right) = 1000$ В. **12.89.** $R_1 = 9\frac{R_шR_г}{R_ш + R_г} + 10R$. **12.90.** $k = \frac{mn - 1}{n + m - 2}$. **12.91.** $R_д = 19{,}8$ кОм, $R_ш = \frac{RI_г}{I - I_г} = 2{,}02$ Ом. **12.92.** $R_д = \frac{U}{I} - R_ш(n - 1) = 105{,}5$ Ом. **12.93.** $\eta = \frac{n - 1}{n} = 0{,}9$. **12.94.** $R_V = \frac{U_1}{I_1}$; $R = \frac{U_2U_1}{U_1I_2 - I_1U_2}$; $R_A = \frac{U_3}{I_3} + \frac{U_2U_1}{I_1U_2 - I_2U_1}$. **12.95.** $R = \frac{U_1}{I_1} - \frac{U_1 - U_2}{I_2} = 90$ Ом. **12.96.** $R = \frac{UR_V}{IR_V - U} = 111{,}1$ Ом; $\Delta R = \frac{U^2}{I(IR_V - U)} = 11{,}1$ Ом.

12.97. $R = \dfrac{R(R_1 - R_2)}{R_2} = 25$ Ом. **12.105.** $A = 660$ Дж. **12.106.** $I = 0{,}25$ А. **12.107.** $t = 3$ с. **12.108.** $R = 24$ Ом. **12.109.** Увеличится в 1,2 раза. **12.110.** $\dfrac{P_2}{P_1} = 1{,}4$. **12.111.** $P = 600$ Вт. **12.113.** $\dfrac{P_1}{P_2} = 4$. **12.114.** $I_{A1} = 2{,}5$ А; $I_A = 4{,}5$ А; $R = 54$ Ом. **12.115.** $I = 0{,}2$ А; нет. **12.116.** $R_1 = 360$ Ом, $I_1 = 0{,}33$ А; $R_2 = 192$ Ом, $I_2 = 0{,}63$ А. **12.117.** $l = \dfrac{\pi d^2 U^2 t}{4\rho Q} = 48{,}5$ м; $P = \dfrac{Q}{t} = 467$ Вт. **12.118.** Увеличилась в 1,1 раза. **12.119.** $P_1 = 600$ Вт; $P_{пос} = 300$ Вт; $P_{пар} = 1200$ Вт. **12.120*.** $\tau = \dfrac{1}{k}\sqrt{\dfrac{2Q}{R}} = 6$ с. **12.121.** Нельзя, т. к. $I_0 > I_1$, $\dfrac{48}{110}$ А $> \dfrac{4}{11}$ А, т. е. первая лампочка перегорит. **12.122.** $\dfrac{U_м}{U_{ст}} = \dfrac{8\rho_м}{\rho_{ст}} = 1{,}1$, $\dfrac{P_{ст}}{P_м} = 1{,}1$. **12.123.** $\dfrac{\rho_1}{\rho_2} = \dfrac{7}{6}$. **12.124.** $\dfrac{P_1}{P_2} = 9$. **12.125.** См. рис. 79. **12.126.** $P = (U_2 - U_1)\dfrac{10U_1}{R} = 240$ Вт. **12.127.** $\Delta t = \dfrac{U^2\tau}{R(cm + C)} = 3{,}1$. **12.128.** $t_{посл} = t_1 + t_2 = 30$ мин, $t_{пар} = \dfrac{t_1 \cdot t_2}{t_1 + t_2} = 6{,}7$ мин. **12.129.** $\tau = \dfrac{c\gamma l^2 \rho(t_{пл} - t_0)}{U^2} = 0{,}86$ с, где γ — плотность свинца. **12.130.** $P = I^2R$. **12.131.** $\Delta P = \dfrac{8\rho l P^2}{\pi d^2 \mathscr{E}^2} = 192$ Вт. **12.132.** $A = 330$ кДж. **12.133.** $\eta = \dfrac{mgh}{UIt} = 0{,}49$; $\eta = 49\%$. **12.134.** $m = \dfrac{\eta j^2 V\rho\tau}{C(t_2 - t_1)} = 11$ г. **12.135.** $\eta = 1 - \dfrac{Pr}{U^2}$. **12.136.** $\eta = 1 - \dfrac{2\rho l P}{U^2 S} = 0{,}98$, $\eta\% = 98\%$. **12.137.** $v = \dfrac{\eta IU}{F} = 19{,}2$ м/с. **12.138.** $I = \dfrac{\mu m g v}{\eta U} \approx 60$ А, $v_1 = \dfrac{\mu v}{\alpha + \mu} = 2{,}5$ м/с. **12.139.** $m = \dfrac{Pt}{\eta q} = 84$ г. **12.140.** $Q_1 = \dfrac{CU^2R_2}{2(R_1 + R_2)} = 0{,}67$ Дж;

Рис. 79

Ответы

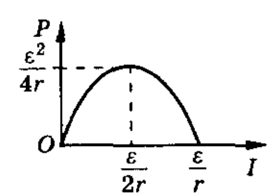
$Q_2 = \dfrac{CU^2R_1}{2(R_1 + R_2)} = 0{,}33$ Дж. **12.141.** Вольтметр подключается к источнику параллельно внешней части цепи. Напряжение на концах внешней цепи и на самом вольтметре одинаково. Вольтметр покажет ЭДС источника при разомкнутой внешней цепи (не совсем точно). **12.142.** Ошибки в схемах *а*, *в*, *г*, *е*, *ж*, *з*. Короткое замыкание во всех схемах, кроме схем *б*, *г*, *д*, *з*. **12.143.** Сработал предохранитель — разомкнул цепь лампы. **12.144.** Нет. **12.145.** а) Сигнальные лампы загорятся только при коротком замыкании в сети. б) Сигнальные лампы все время горят и гаснут только при коротком замыкании. **12.146.** $\mathcal{E} = 2$ В. **12.147.** $A = 600$ Дж. **12.148.** $A_{ст} = \mathcal{E}It = 18$ Дж. **12.149.** $I = 3{,}0$ А. **12.150.** $I_1 = 1{,}5$ А; $I_2 = 1{,}0$ А; $I_3 = 0{,}60$ А. **12.151.** $r = 1$ Ом. **12.152.** $U = 3{,}3$ В. **12.153.** $I = 0{,}50$ А; $U_б \approx 5{,}8$ В; $U_{вн} = 0{,}25$ В. **12.154.** $I = 2$ А, $U = 10$ В. **12.155.** $U = \dfrac{\mathcal{E}}{2}$. **12.156.** $r = 2$ Ом. **12.157.** $U = \dfrac{\mathcal{E}}{\dfrac{rS}{l\rho} + 1} = 1{,}7$ В.

12.158. $d = 2\sqrt{\dfrac{\rho l I}{\pi(\mathcal{E} - Ir)}} = 0{,}52$ мм. **12.159.** $I_{к.з} = I\dfrac{\mathcal{E}}{\mathcal{E} - IR} = 5{,}5$ А. **12.160.** $\mathcal{E} = \dfrac{(R_2 - R_1)U_1U_2}{R_2U_1 - R_1U_2} = 3$ В; $r = \dfrac{R_1R_2(U_2 - U_1)}{R_2U_1 - R_1U_2} = 1$ Ом. **12.161.** $\mathcal{E} = \dfrac{I_1I_2}{I_2 - I_1} \times (R_1 - R_2) = 18$ В, $r = \dfrac{R_1I_1 - R_2I_2}{I_2 - I_1} = 2$ Ом. **12.162.** $\eta_4 = \dfrac{\eta_2\eta_3}{\eta_1\eta_2 + \eta_1 - \eta_2\eta_3} = 0{,}5$; $\eta_4 = 50\%$. **12.163.** $U_{посл} = \dfrac{2U_1U_2}{U_1 + U_2} = 4$ В; $U_{пар} = \dfrac{U_1U_2}{2U_1 - U_2} = 2$ В.

12.164. $r = \dfrac{(\mathcal{E} - I_1R_1)R_2}{I_1(R_1 + R_2)} = 3{,}2$ Ом. **12.165.** $\varphi_A - \varphi_B = \dfrac{\mathcal{E}R_1R_2}{R_1R_2 + rR_1 + rR_2} = 2$ В. **12.166.** $\mathcal{E} = 7{,}5$ В; $r = 1{,}5$ Ом. **12.167.** $I = 1$ А, $A_{ст} = 9$ кДж, $A_1 = 8{,}4$ кДж, $A_2 = 0{,}6$ кДж. **12.168.** $P = \dfrac{\mathcal{E}^2R}{(R + r)^2} = 2$ Вт; $P_и = \dfrac{\mathcal{E}^2}{R + r} = 3$ Вт; $\Delta P = P_и - P = 1$ Вт. **12.169.** $I_{1,2} = \dfrac{\mathcal{E}}{2} \pm \sqrt{\dfrac{\mathcal{E}^2}{4} + Pr}$; $I_1 = 0{,}5$ А; $R_1 = 3$ Ом; $I_2 = 1{,}5$ А; $R_2 = 1{,}3$ Ом. **12.170.** 1) $U = IR$, если $R \approx 0$, то и $U \approx 0$. 2) При $R = 0$ (при коротком замыкании) и $R = \infty$ (при разомкнутой цепи). **12.171.** $R = r = \dfrac{\mathcal{E}}{I} = 2$ Ом; $P_{max} = \dfrac{I_{max}\mathcal{E}}{4} = 4{,}5$ Вт. **12.172.** $I_{к.з} = \dfrac{(R_1 - R_2)\sqrt{P_1P_2}}{R_1\sqrt{P_1R_2} - R_2\sqrt{P_2R_1}} = 2{,}5$ А.

12.173. $P_2 = P_1\frac{I_2}{I_1} + r(I_1 - I_2)I_2 = 11$ Вт. **12.174.** $r = \sqrt{R_1R_2} = 6$ Ом.

12.175. $\frac{I_2}{I_1} = 5$; $\frac{U_2}{U_1} = \frac{5}{9}$; $\frac{P_2}{P_1} = 2{,}8$. **12.176.** $\Delta t = \frac{\mathscr{E}^2\tau}{4rcm} = 31$ °C. **12.177.** $\eta = \frac{U}{\mathscr{E}} = 0{,}8$; $\eta = 80\%$. **12.179.** $r = \frac{R_1(n-1)(R_1+R_2)}{R_1(1-n)+R_2} = 32{,}4$ Ом. **12.180.** $r = \sqrt{R_1R_2} = 6$ Ом; $\eta_1 = 33\%$; $\eta_2 = 67\%$. **12.181.** $P = I(\mathscr{E} - Ir)$. При $I_0 = \frac{\mathscr{E}}{2r}$ $P_{max} = \frac{\mathscr{E}^2}{4r}$, $\eta = 1 - \frac{r}{\mathscr{E}}I$. См. рис. 80. **12.182.** $I = \frac{\mathscr{E}}{R+r}$, $U = \frac{\mathscr{E}R}{R+r}$,



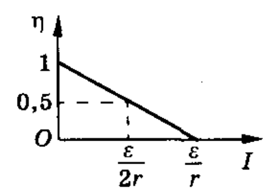


Рис. 80

$P = \frac{\mathscr{E}^2R}{(R+r)^2}$, $P_0 = \frac{\mathscr{E}^2}{R+r}$, $\eta = \frac{R}{(R+r)}$, $R_0 = r$, $P_{max} = \frac{\mathscr{E}^2}{4r}$, $\eta = 50\%$. См. рис. 81. **12.183.** $R_1 = 100$ Ом; $R_2 = 300$ Ом. **12.184.** $\mathscr{E}_0 = 2\mathscr{E} = 8$ В; $r_0 = 2r = 2$ Ом. **12.185.** $U = \frac{3\mathscr{E}R}{3r + R + \rho\frac{l}{S}} = 3{,}3$ В. **12.186.** $n = \frac{U^2}{\mathscr{E}U - Pr} = 45$.

12.187. $\mathscr{E} = 1470$ В; $r = 42$ Ом; $I = 35$ А. **12.188.** $\mathscr{E}_0 = \mathscr{E} = 3$ В; $r_0 = \frac{r}{2} = 1$ Ом.

12.189. а) $I_{посл} = \frac{2\mathscr{E}}{2r+R} = 0{,}97$ А; $I_{пар} = \frac{2\mathscr{E}}{r+2R} = 0{,}64$ А; б) при $R > r$ последовательно. **12.190.** $r_1 = \frac{\mathscr{E}_1 - \mathscr{E}_2}{I} = 5$ Ом, $r_2 = \frac{\mathscr{E}_2}{I_1} = 10$ Ом, $R = 10$ Ом.

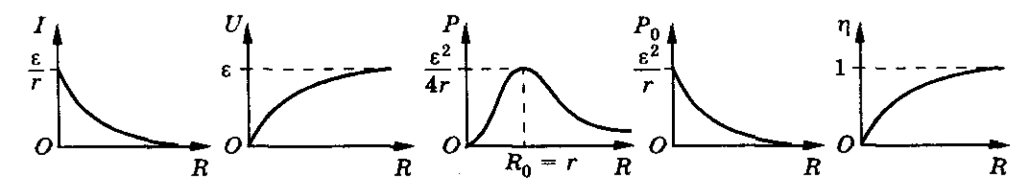


Рис. 81

Ответы

12.191. $P_1 = \frac{9}{16}P = 45$ Вт. **12.192.** $r = R$. **12.193.** $R = r\frac{n\sqrt{\gamma} - 1}{n - \sqrt{\gamma}}$. **12.194.** $\mathcal{E}_0 = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_3$; $r = r_1 + r_2 + r_3 + R_1 + R_2$. **12.195.** $\mathcal{E} = 3$ В, $r_0 = 12$ Ом. **12.196.** $r_0 = \frac{3}{2}r = 1{,}5$ Ом, $\mathcal{E} = \frac{\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2}{2} + \mathcal{E}_3 = 45$ В. **12.197.** $I_1 = I_3 = \frac{\varphi_1(R_2 + R_3) - (\varphi_2 R_3 + \varphi_3 R_2)}{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1} = 1$ А; $I_2 = 0$; $\varphi_0 = \varphi_1 - I_1R_1 = 9$ В. **12.198.** $\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\mathcal{E}(R_2 - R_1)}{R_1 + R_2} = -2$ В. **12.199.** $R = r_2 - r_1$. На втором, если $r_2 > r_1$. **12.200.** Если $r_2 > r_1$, то $\frac{r_2 - r_1}{2} = \frac{R_1R_2R_3}{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}$. **12.201.** $\varphi_A - \varphi_B = \frac{2\mathcal{E}_1 + 3\mathcal{E}_2}{5}$. **12.202.** $\Delta\varphi_1 = \frac{2}{3}$ В; $\Delta\varphi_2 = 0$. **12.203.** $\mathcal{E} = 15$ В; $r = 4{,}5$ Ом; $\varphi_A - \varphi_B = -25{,}5$ В. **12.204.** $U_{AB} = 1$ В. **12.205.** $U_1 = \frac{\mathcal{E}_1 r_2 + \mathcal{E}_2 r_1}{r_1 + r_2} = 4{,}3$ В; $U_2 = \frac{(\mathcal{E}_1 r_2 + \mathcal{E}_2 r_1)R}{r_1r_2 + Rr_1 + Rr_2} = 3{,}8$ В. **12.206.** $U = \mathcal{E} + Ir = 15$ В. **12.207.** $r = \frac{U_1 - U_2}{I_1 - I_2} = 2$ Ом; $\mathcal{E} = \frac{I_1U_2 - I_2U_1}{I_1 - I_2} = 18$ В. **12.208.** $\eta = \frac{\mathcal{E}}{U} = 0{,}8$; $P = \frac{(U - \mathcal{E})\mathcal{E}}{r} = 2{,}4$ Вт. **12.209.** $I_1 = \frac{Ir_2 + \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{r_1 + r_2} = 2$ А; $I_2 = \frac{Ir_1 - \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2}{r_1 + r_2} = 1$ А. **12.210.** $\mathcal{E} = \frac{Ed}{R}(r + R) = 2{,}55$ В; $F = \frac{\varepsilon_0 SE^2}{2} = 1{,}1$ мкН; $q = \varepsilon_0 SE = 4{,}4 \cdot 10^{-10}$ Кл. **12.211.** $U_1 = \frac{(n - 1)C_2\mathcal{E}}{n(C_1 + C_2)}$; $U_2 = \frac{(n - 1)C_1\mathcal{E}}{n(C_1 + C_2)}$. **12.212.** $I_{min} = \frac{\mathcal{E}}{R_2} = 20$ А; $I_{max} = \frac{\mathcal{E}(R_1 + R_2)}{R_1R_2} = 120$ А. **12.213.** $q = \frac{17}{29}C\mathcal{E}$. **12.214.** $\varphi_B - \varphi_A = \mathcal{E}\left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{C_2}{C_1 + C_2}\right) = -1{,}67$ В. **12.215.** $q = C(IR + \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2)$. **12.216.** $\varphi_A - \varphi_B = -\mathcal{E} - \frac{q}{C} = -5$ В. **12.217.** $U_{C1} = \frac{C_2C_3(\varphi_A - \varphi_B + \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2)}{C_1C_2 + C_2C_3 + C_3C_1} = 1$ В, $U_{C2} = 0{,}67$ В, $U_{C3} = 0{,}33$ В. **12.218.** $q_2 = C_2\left(\frac{q_1}{C_1} + \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2\right) = 0$. **12.219.** $U = \frac{\mathcal{E}}{2}$. **12.220.** $I = \frac{\mathcal{E}_2 r_1 + \mathcal{E}_1 r_2}{r_1r_2 + Rr_1 + Rr_2} = 1{,}5$ А. **12.221.** $I_1 = 334$ мА; $I_2 = 71$ мА; $I_3 = 263$ мА.

12.222. $I = \frac{\mathscr{E}_1}{R_1} - \frac{\mathscr{E}_2}{R_2} = 0$. **12.223.** $I_1 = 2{,}3$ А, $I_2 = 0{,}4$ А, $I_3 = 1{,}9$ А, $I_4 = 1{,}5$ А, $I_5 = -1{,}1$ А, $I_6 = 3{,}4$ А. **12.224.** $I_A = \frac{5\mathscr{E}}{76r}$. **12.225.** $\frac{q_2}{q_1} = -2k = -10$. **12.226.** $C_3 = C_4 = C_1 = 12$ мкФ; $C_2 = \frac{C_1}{3} = 4$ мкФ. **12.227.** $U = \frac{IR_1(R_2 + R_3)}{R_2} = 0{,}5$ В. **12.228.** $R_1 = \frac{R_3R_2}{R_4} - \frac{R_2(R_3 + R_4)}{R_4} \cdot \frac{\mathscr{E}_1}{\mathscr{E}_2}$. **12.229.** $m = \frac{m_e It}{e} = 0{,}2$ мг. **12.230.** $n = N_A \cdot \frac{\rho}{M} = 8{,}3 \cdot 10^{28}$ см$^{-3}$. **12.231.** $I = jS = 18$ А; $j = env = 0{,}36$ А/мм^2. **12.232.** $v = \frac{I}{neS} = 0{,}25$ мм/с. **12.233.** $\frac{IM}{\rho N_A eS} v = 0{,}15$ мкм/с. **12.234.** $\frac{v_2}{v_1} = 4$. **12.235.** $v = \frac{E}{en\rho} = 0{,}5$ мм/с. **12.236.** $E = \frac{I\rho}{S} = 18$ мВ/м. **12.237.** $v = \frac{MU}{el\rho\gamma N_A} = 0{,}44$ см/с, где γ — плотность меди. **12.238.** $F = \frac{eI\rho}{S} = 2{,}4 \cdot 10^{-21}$ Н. **12.239.** $R_1 = 55$ Ом; $R_2 = 440$ Ом. **12.242.** $R = R_0(1 + \alpha t) = 8{,}1$ Ом. **12.243.** $t = 2000$ °С. **12.245.** $l = \frac{\pi d^2 R}{4\rho(1 + \alpha t)} = 20$ м. **12.244.** $t = 244$ °С. **12.246.** $\alpha = \left(\frac{I_1}{I_2} - 1\right)/\Delta t = 0{,}004$ К$^{-1}$. **12.247.** Ток включения большой, т. к. сопротивление нити малое. **12.248.** Уменьшится на $\eta = \frac{\alpha t}{1 + \alpha t} = 0{,}11$; $\eta = 11\%$. **12.249.** $t = \left(\frac{U^2}{P} \cdot \frac{I_1}{U_1} - 1\right)/\alpha = 2514$ °С. **12.250.** $\rho_t = \rho_{t1}\frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha t_1} = 1{,}4 \cdot 10^{-7}$ Ом · м. **12.251.** $l = \frac{RS}{\rho(1 + \alpha t)} = 6{,}5$ м. **12.252.** $j = \frac{U}{\rho(1 + \alpha\Delta t)l} = 2{,}6 \cdot 10^6$ А/м^2. **12.253.** а) $\alpha_{посл} = \frac{\alpha_1 + n\alpha_2}{1 + n}$; б) $\alpha_{пар} = \frac{\alpha_2 + n\alpha_1}{1 + n}$. **12.254.** $\frac{l_{уг}}{l_{ст}} = \frac{\rho_{ст}\alpha_{ст}}{\rho_{уг}\alpha_{уг}} = 2{,}25$. **12.255.** $q = I\varepsilon_0(\rho_1 - \rho_2)$, $\sigma = \frac{I\varepsilon_0}{S}(\rho_1 - \rho_2)$. **12.256.** Струя может создать опасный для человека электрический контакт между проводом и землей. **12.257.** При несоблюдении полярности оксидная пленка вследствие электролиза исчезнет, а конденсатор придет в негодность. Кроме того, образование газов в герметизированном корпусе конденсатора может привести к взрыву. **12.258.** Если бы положительный полюс источника напряжения

Ответы

был подан на рельсы, то на них вследствие электролиза почвенной влаги выделялся бы кислород и ускорялась бы коррозия. **12.259.** При медных — пока не растворится медный анод. При угольных — пока не истощится электролит. **12.260.** $v \approx 1{,}3$ мм/с. **12.261.** $m \approx 1{,}66 \cdot 10^{-27}$ кг. **12.262.** Нет, погрешность равна ~0,1 А. **12.263.** Увеличится. **12.264.** $m = 0{,}335$ г. **12.265.** $k = \dfrac{m_2 - m_1}{It} = 0{,}33$ мг/Кл. **12.266.** $m_2 = \dfrac{k_2}{k_1} m_1 = 6$ г. **12.267.** $k = 2{,}38 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

12.268. $k_{Au} = k_{Al} \dfrac{M_{Au} n_{Al}}{M_{Al} n_{Au}} = 2{,}04$ мг/Кл. **12.269.** $F = 9{,}62 \cdot 10^4$ Кл/моль, $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл. **12.270.** $\dfrac{m_1}{m_2} = 1{,}53$. **12.271.** $\nu = \dfrac{It}{Fn} = 0{,}05$ моль. **12.272.** $m_2 = m_1 \dfrac{n_1 M_2}{n_2 M_1} = 4{,}1$ г; $N_1 = 1{,}9 \cdot 10^{22}$; $N_2 = 1{,}2 \cdot 10^{22}$. **12.273.** $W = \dfrac{mU}{k} = 30$ МДж.

12.274. $W = \dfrac{2\eta UFpV}{RT} = 73$ кДж. **12.275.** $N = \dfrac{jSt}{ne} = 5{,}6 \cdot 10^{-19}$. **12.276.** $m = \dfrac{ktS}{4}(2j_1 + j_2) = 4{,}9$ кг. **12.277.** $I = \dfrac{kt}{4}(2I_1 + I_2) = 5{,}8$ мг. **12.278.** $P = \dfrac{m^2 R}{k^2 t^2} = 30$ Вт. **12.279.** $U = IR + \mathcal{E}_1 = \dfrac{\mathcal{E}_1 r + \mathcal{E}R}{R + r} = 3{,}6$ В; $m = k\dfrac{\mathcal{E} - \mathcal{E}_1}{R + r} t = 0{,}79$ г.

12.280. $\langle j \rangle = \dfrac{\rho hFn}{Mt} = 0{,}16 \cdot 10^3$ А/м². **12.281.** $h = \dfrac{MWt}{\rho SFnv} = 10{,}7$ мкм.

12.282. $h = \sqrt[3]{\dfrac{3MIt}{4\pi Fn\rho} + R^3} - R \approx 0{,}15$ см. **12.283.** $j = \dfrac{\rho vnF}{M} \approx 2{,}6 \cdot 10^3$ А/м².

12.284. $I = \dfrac{2mFn}{Mt} = 178{,}7$ А; $V = 2\dfrac{m}{M}\dfrac{RT}{p} = 2{,}5$ л. **12.285.** $T = \dfrac{2FnpV}{Rq} = 1500$ К.

12.287. Легко — лития, т. к. один валентный электрон легко оторвать. У гелия замкнутую оболочку электронов трудно разрушить. Легче всего ионизировать цезий: у него много внутренних электронов, экранирующих поле ядра. **12.289.** а) При увеличении диаметра провода максимальная напряженность поля и интенсивность ионизации уменьшаются. б) Увеличивается проводимость воздуха. **12.290.** Тонкостенную деталь следует присоединить к минусу, т. к. отрицательный электрод нагревается меньше, чем положительный. **12.291.** В первом случае разряд вызван термоэмиссией электронов с катода; во втором — разряд вызван ионизацией воздуха в сильном электрическом поле. **12.292.** При переменном токе оба угля сгорали равномерно. **12.294.** От действия ионизатора. **12.295.** $N = 2{,}5 \cdot 10^7$ см$^{-3}$. **12.296.** $l = 0{,}5$ см. **12.297.** $E = 3 \cdot 10^7$ В/м. **12.298.** $U = 4{,}15$ В. **12.299.** $I_н = 80$ нА. **12.300.** $E = 3{,}1$ МВ/м; $v = 2{,}3 \cdot 10^6$ м/с. **12.301.** $d = 2$ мм. **12.302.** Вследствие термоэлектронной эмиссии. Положительный. **12.303.** При уменьшении давления

газа напряжение пробоя уменьшается, т. к. с уменьшением давления увеличивается длина свободного пробега электронов и ионов, и они могут приобрести необходимую для ионизации кинетическую энергию при меньшей напряженности электрического поля. **12.304.** $N = 3{,}1 \cdot 10^{17}$. **12.305.** $v = 5{,}9 \cdot 10^3$ км/с. **12.306.** $t = l\sqrt{\dfrac{2m_e}{eU}} = 8$ нс. **12.307.** $t = 1{,}6$ нс. **12.308.** $U = \dfrac{4ydW}{ex^2} = 3200$ В. **12.309.** Окружность. **12.311.** Нет, с понижением температуры сопротивление кремния увеличивается. **12.312.** а) Электронным, т. к. валентность примеси больше, чем валентность германия; б) дырочным, т. к. валентность примеси меньше валентности германия. **12.313.** При введении фосфора — проводимость n-типа (фосфор пятивалентен); в остальных случаях — проводимость p-типа. **12.314.** Нет, т. к. олово четырехвалентно. **12.315.** Подвижность электронов больше подвижности дырок. **12.316.** В металлах велика концентрация электронов проводимости, и небольшое количество дополнительных электронов, полученных за счет фотоэффекта, практически не влияет на электропроводимость металлов. **12.317.** $\eta = \dfrac{nM}{\rho N_A} = 6{,}1 \cdot 10^{-10}$. **12.318.** Уменьшилось в $n = 3$ раза. **12.319.** $R_3 = 2{,}5$ кОм. **12.320.** $R_1 = 100$ Ом; $R_2 = 100$ кОм. **12.321.** $S = \dfrac{P}{\eta\Phi} = 0{,}36$ м^2. **12.322.** $R_{AB} = 20$ Ом; $R_{BA} = 82{,}5$ Ом. **12.323.** $v_1 = 680$ км/с; $v_2 = 340$ км/с.

13. Магнетизм

13.1. Можно. **13.2.** Южный. **13.4.** Нет. **13.6.** Шарик будет притягиваться к магниту, как если бы он притягивался к любому поднесенному к нему незаряженному телу. (Магнитное поле на неподвижный заряд не действует.) **13.7.** Листочки электроскопа несколько опадут. См. предыдущую задачу. **13.8.** Разломать пилочку пополам и поднести одну часть сломанной пилочки к другой. **13.9.** Да. **13.10.** Да. **13.11.** Можно. **13.12.** Одну из спиц поднести к середине другой. **13.13.** По действию конца одного стержня на середину другого. **13.14.** Нет. Магнитное поле каждого магнита будет слабее. **13.19.** Да. **13.21.** Не будет. **13.25.** Результат действия токов одного направления. Уплотнение металлов. **13.26.** Витки пружины представляют собой параллельно расположенные проводники, по которым течет ток в одном направлении. При замыкании цепи витки пружины будут притягиваться друг к другу. Это вызовет размыкание цепи. Магнитное поле исчезнет, и пружина под действием силы тяжести распрямится, а нижний конец пружины опустится в ртуть и замкнет цепь. Этот процесс вновь повторится, и пружина, размыкая и замыкая цепь, будет совершать колебательное движение. **13.29.** Нельзя. **13.32.** Магнитные линии такой катушки представляют собой

Ответы

окружности, расположенные внутри катушки. **13.33.** $B = \mu_0 \frac{I}{2\pi r} = 200$ мкТл. **13.34.** $B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r^2}\sqrt{4r^2 - l^2} = 73{,}7$ мкТл. **13.35.** $H = \frac{I\sqrt{2}}{4\pi r} \approx 1{,}3$ А/м. **13.36.** $x_1 \approx \approx 1{,}1 \cdot 10^{-2}$ м — прямая лежит между проводами с силой тока I_2 и I_3; $x_2 \approx \approx -1{,}9 \cdot 10^{-2}$ м — прямая лежит между проводами с силой тока I_2 и I_1, что также возможно. **13.37.** $H = \frac{I\sqrt{2}}{4\pi r}(2 + \sqrt{2}) \approx 111{,}4$ А/м. **13.38.** $H = \frac{9I}{2\pi\alpha}$. **13.39.** $B = \frac{\mu_0 I}{2R} = 62{,}8$ мкТл. **13.40.** $B = \frac{\mu_0 I}{2R} \approx 11{,}8$ Тл. **13.41.** $B = \frac{\mu_0 ev}{4\pi R^2} = 12{,}8$ Тл. **13.42.** $B = \frac{\mu_0 \mu \pi \rho I^2}{US} = 44{,}7$ мкТл. **13.43.** $B = \frac{\mu_0 \mu I\sqrt{2}}{2R} = 35{,}4$ мкТл. **13.44.** $B = 0$. **13.45.** $B = 0$. **13.46.** а) $B = \frac{\mu_0 I}{4R}$; б) $B = \frac{\mu_0 I}{4R}\left(\frac{1}{\pi} + \frac{3}{2}\right)$. **13.47.** $B = \mu\mu_0 \frac{N}{l} I = 1{,}84$ Тл. **13.48.** $l = \frac{NI}{H} = 0{,}2$ м. **13.49.** $I = 16$ А. **13.50.** $\rho = \frac{Ud^2}{4DHl} = 10^{-6}$ Ом·м. **13.52.** Не действует во всех случаях. **13.53.** За плоскость чертежа. **13.54.** 1) Влево; 2) а) вправо; б) влево. **13.55.** а) Перпендикулярно; б) параллельно линиям поля; в) под углом к линиям поля. **13.56.** $F = qv_0B = 10^{-4}$ Н. См. рис. 82. **13.57.** $B = \frac{F}{qv_0} = 1{,}25$ Тл. См. рис. 83. **13.58.** $F = qv_0B\sin\alpha = 1{,}4 \cdot 10^{-4}$ Н. См. рис. 84. **13.59.** $F = 1{,}6 \cdot 10^{-13}$ Н; $R = \frac{m_p v}{eB} \approx 1{,}04 \cdot 10^{-2}$ м. **13.60.** $B = 5$ мТл. **13.61.** $F = \frac{e^2B^2R}{m_e} = 1{,}4 \cdot 10^{-12}$ Н. **13.62.** $\nu = \frac{eB}{2\pi m_e} \approx 5{,}6 \cdot 10^9$ Гц. **13.63.** $a_n = \frac{evB}{m_e} = 7 \cdot 10^{15}$ м/с^2; $a_\tau = 0$; $R = \frac{m_e v}{eB} = 0{,}23$ м. **13.64.** $I = \frac{Be^2}{2\pi m_e} = 4{,}5 \cdot 10^{-10}$ А. **13.65.** $T = 2\pi\frac{m}{qB}$. **13.66.** $p = eBR = 2{,}4 \cdot 10^{-23}$ кг·м/с. **13.67.** $E_к = \frac{B^2e^2R^2}{2m_e} = 0{,}56 \cdot 10^{-15}$ Дж $= 3{,}5$ кэВ.

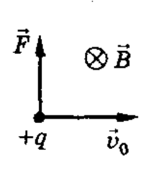


Рис. 82

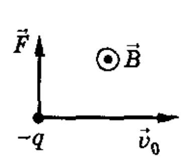


Рис. 83

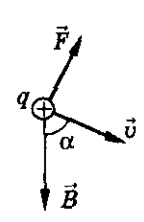


Рис. 84

13.68. $F = \frac{2E_к}{R} = 3{,}2 \cdot 10^{-13}$ Н. **13.69.** $R = \frac{\sqrt{2m_pE_к}}{eB} = 0{,}32$ м. **13.70.** $R = \frac{\sqrt{2m_pE_к}}{eB} = 3 \cdot 10^{-2}$ м. **13.71.** $l = \frac{\sqrt{2m_pE_к}}{Be} = 14{,}5$ см. **13.72.** $v \geqslant \frac{eBl}{m_e}$. **13.73.** $l = \frac{\pi}{qB}\sqrt{2mE_к} = 3{,}63$ м. **13.74.** $\Delta v = 2v\sin\left(\frac{eB\Delta t}{2m_e}\right) \approx 10^6$ м/с. **13.75.** $s = \frac{2mv}{eB} \times \sin\left(\frac{eBt}{2m_e}\right)$. **13.76*.** $T = \frac{2\pi m_e}{eB} = 4 \cdot 10^{-9}$ с; $\alpha = \text{arctg}\frac{2\pi R}{h} \approx 39°$. **13.77*.** $R = \frac{m_e v\sin\alpha}{e\mu_0 H} = 1{,}96$ мм; $h = \frac{2\pi m_e v\cos\alpha}{e\mu_0 H} = 7{,}1$ мм. **13.78*.** $v = \frac{eB}{2\pi m_e} \times \sqrt{h^2 + 4\pi^2R^2} = 4{,}8 \cdot 10^6$ м/с. **13.79*.** $h = 2\pi\frac{\sqrt{2E_к m_p - R^2}}{e^2B^2} = 0{,}6$ м.

13.80*. $E_к = \frac{(4\pi^2R^2 + h^2)B^2e^2}{8\pi^2 m_p} = 5{,}8 \cdot 10^{-13}$ Дж, где m_p — масса протона.

13.81. $\frac{B_2}{B_1} = \frac{2v + \pi v_x}{2v - \pi v_x} = 1{,}37$. **13.82.** $\eta = 1 - \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 = \frac{3}{4}$. **13.83.** $l = 4R = 22{,}8$ мм.

13.84. $\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2R^2} \approx 1{,}78 \cdot 10^{11}$ Кл/кг. **13.85.** $U = \frac{F^2m}{2B^2q^3} = 125$ МВ. **13.86.** $F = \frac{q^2EB}{m}\Delta t = 2{,}5 \cdot 10^{-2}$ Н. **13.87.** $\frac{a_n}{a_\tau} = \frac{eBt}{m_e} \approx 1{,}8 \cdot 10^4$. **13.88.** $l = \frac{eB^2R^2}{2Em_e} = 19{,}8$ см. **13.89*.** $F = \mu_0\mu\frac{Ie}{2\pi r}\sqrt{\frac{2eU}{m_e}} \approx 4 \cdot 10^{-16}$ Н. **13.90.** $U = \frac{eB^2R^2(n^2 - 1)}{2m_pn^2} \approx 575$ В. **13.91*.** а) $a_1 = \frac{eE}{m_p} \approx 2 \cdot 10^{10}$ м/с^2; б) $a_2 = \frac{e}{m_p}\sqrt{E^2 + B^2v^2} \approx 3{,}7 \cdot 10^{10}$ м/с^2. **13.92*.** $\Delta t = \frac{BR}{E} = 10$ мкс. **13.93*.** $\frac{h_2}{h_1} = 3$. **13.94*.** $t = \sqrt{\frac{B^2R^2}{E^2}\text{ctg}^2\alpha + \frac{2ml}{eE}} - \frac{BR}{E}\text{ctg}\,\alpha = 1{,}18 \cdot 10^{-4}$ с. **13.95.** $\frac{q}{m} = \frac{E^2}{2UB^2} = 4{,}9 \cdot 10^7$ Кл/кг. **13.96.** $v = \frac{E}{B} = 10^6$ м/с. **13.97*.** $x = A(\omega t - \sin\omega t)$; $y = A(1 - \cos\omega t)$, где $A = \frac{mE}{qB^2}$; $\omega = \frac{qB}{m}$, если $\vec{E} \uparrow\uparrow OX$, а $B \uparrow\uparrow OZ$. **13.98.** $v = \frac{mg}{\mu qB}(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$ при $\mu \leqslant \text{tg}\,\alpha$; $v = 0$ при $\mu \geqslant \text{tg}\,\alpha$. **13.99.** $h_{1,2} = \frac{qBR}{9mg} \times$

$\times\left(\frac{qBR}{m}\pm\sqrt{Rg\left(6+\frac{q^2B^2R}{m^2g}\right)}\right)+\frac{R}{3}$. **13.100.** $v_{min}=\left[\left(5gl+\frac{q^2B^2l^2}{2m^2}\right)\left(1-\sqrt{1+\frac{4m^2g}{q^2B^2l}}\right)\right]^{\frac{1}{2}}$.

13.101. $T = 2\pi\sqrt{\frac{ml}{qE+mg}}$. **13.102.** Сила направлена перпендикулярно к плоскости чертежа: в проводнике *1* — от читателя; *2* — к читателю; *3* — вертикально вниз; *4* — вертикально вверх. **13.103.** $F_{min} = 0$; $F_{max} = 9$ Н. **13.104.** $F = IBl\sin\alpha \approx 6{,}4$ Н. **13.105.** $F = IBl = 0{,}25$ Н, перпендикулярна плоскости рисунка и направлена за плоскость. **13.106.** $B = \frac{F}{Il} = 0{,}4$ Тл. **13.107.** $I = \frac{F}{Bl\sin\alpha} = 30$ А. **13.108.** $\alpha = \arcsin\frac{F}{IBl} = 30°$. **13.109.** $l = \frac{mg}{BI\sin\alpha} = 24{,}2$ см. **13.110.** $I = \frac{mg}{Bl} = 9{,}8$ А. **13.111.** $B = \frac{\mu mg}{Il} \approx 6{,}6\cdot10^{-2}$ Тл. **13.112.** $L = \frac{mv^2}{2BIl} = 608$ м. **13.113.** $v_0 = \sqrt{\frac{2evBl}{m_p}} \approx 1{,}1\cdot10^7$ м/с. **13.114.** $\alpha = \mathrm{arctg}\left(\frac{IBl}{mg}\right) = 5{,}8°$. **13.115.** $B = \frac{2\rho gS}{I}\mathrm{tg}\,\alpha = 10$ мТл, где ρ — плотность меди. **13.116.** $\alpha = 2\arcsin\left(\frac{BCUL}{2m\sqrt{gl}}\right) = 2\arcsin 0{,}1 \approx 12°$. **13.117.** $C_1 = C_0\frac{\alpha}{\beta} = 15$ мкФ. **13.118.** $I \geqslant \frac{2T-mg}{Bl} = 36$ А. **13.119.** $f = \frac{F}{l} = IB = 10^3$ Н/м. **13.120.** $F = \frac{\mu_0 I^2 l}{2\pi R} = 120$ Н. **13.121.** $R = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi F} = 3$ см. **13.122.** $I = \sqrt{\frac{2\pi bF}{\mu_0\mu l}} \approx 58$ А. **13.123.** $F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi R} \approx 4\cdot10^{-4}$ Н. **13.124.** $x = \frac{\mu_0 I^2 l}{2\pi mg} = 0{,}2$ м. **13.125.** $F = 0$. **13.126*.** $F = \pi IBR = 0{,}157$ Н. **13.127.** $A = IBld\sin\alpha = 375$ мДж. **13.128*.** $\frac{A}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi}\cdot\ln\frac{r_2}{r_1} = 27{,}6$ мкДж/м. **13.129.** $A = 0{,}2$ Дж. **13.130.** а), б) Магнитное поле «растягивает» рамку; в) изменить или направление тока, или направление магнитного поля. **13.131.** а), б) Рамка будет поворачиваться так, что правая сторона будет двигаться на читателя, а левая от него; в) изменить или направление тока в рамке, или направление линий индукции магнитного поля. **13.132.** Изменилось направление тока, проходящего по рамке гальванометра. **13.133.** При уменьшении магнитного поля якорь будет вращаться быстрее $\left(w = \frac{U}{kB}\right)$. При малом магнитном поле вращающий момент не может преодолеть сил трения и якорь останется неподвижным. **13.134.** В работающем электродвигателе энергия тока преобразуется в механическую энергию. При торможении в электродвигателе

энергия тока преобразуется во внутреннюю энергию обмотки. **13.135.** $B = \frac{M}{IS} = 0{,}04$ Тл. **13.136.** $I = \frac{M}{BS} = 5$ А. **13.137.** $M = NIBab = 0{,}1$ Н · м. **13.138.** $M = IBS\sin\alpha = 0{,}01$ Н · м. **13.139.** $M = \frac{\pi d^2 IB}{4} = 6{,}28$ мкН · м. **13.140.** а) $M = \frac{BIl^2\cos\alpha}{16} = 3{,}5\cdot10^{-4}$ Н · м; б) $M = \frac{BIl^2\cos\alpha}{4\pi} = 4{,}5\cdot10^{-4}$ Н · м. **13.141.** а) $M = NIBlh = 2{,}4\cdot10^{-9}$ Н · м; б) $M = NIBlh\cos\alpha = 2{,}1\cdot10^{-9}$ Н · м. **13.142*.** $p_м = \pi R^2 I = 78{,}5$ мА · м^2. **13.143*.** $p_м = \frac{e^2}{4}\sqrt{\frac{R}{\pi\varepsilon_0 m_e}} \approx 9\cdot10^{-24}$ А · м^2. **13.144*.** $p_м = \pi q\nu R^2 = 3{,}14$ нА · м^2. **13.145*.** $p_м = NIS = 12$ А · м^2; $M = N\mu_0 HIS\sin\alpha = 0{,}1$ Н · м. **13.146*.** $B = \frac{\Delta mgl}{NIS} = 0{,}4$ Тл. **13.147*.** $I = \sqrt{\frac{mgl}{\mu_0 nNS}}$. **13.148*.** $F = \frac{\mu_0 I^2}{4\pi} = 0{,}1$ Н. **13.149.** $F = IBR = 0{,}4$ Н. **13.150*.** $\sigma = \frac{IBd}{2S} = 10^5$ Па. **13.151.** $B_{max} = \frac{\sigma S}{IR} = 2{,}3\cdot10^5$ Тл. **13.152.** $R = \frac{rST_0}{\mathscr{E}BS - 2\pi\rho T_0}$. **13.153*.** $F = BI2\pi R\sin\alpha$. **13.154.** а) $\Phi = BS = 2$ мВб; б) $\Phi = BS\cos\alpha = 1{,}4$ мВб; в) $\Phi = 1{,}7$ мВб. **13.155.** $\Phi = BS\sin\alpha = 50$ мкВб. **13.156.** $\Phi = Ba^2\sin\alpha = 1{,}13\cdot10^{-5}$ Вб. **13.157.** $\Phi = \pi Bl^2 = 0{,}157$ Вб. **13.158.** $\Phi = \pi B(l^2 + r^2)$. **13.159.** $\Delta\Phi = Ba^2(\cos\alpha - 1) = -40$ мВб, уменьшается. **13.160.** $\alpha = \arccos\left(1 - \frac{\Delta\Phi}{Ba^2}\right) = 60°$. **13.161.** $\Delta\Phi = 2\pi BR^2 = 75{,}4$ мВб. **13.162.** $\Delta N = \frac{\Delta\Phi}{\pi R^2 B\cos\alpha} = 318$. **13.163.** В $n = 2$ раза меньше. **13.164.** $\frac{\Phi_2}{\Phi_1} = \frac{\pi\sin\alpha}{4} = \frac{\pi}{8}$. **13.165.** $\Delta\Phi = \frac{k}{4}\pi d^2(x_1 - x_2) = -31{,}4$ мВб. **13.166.** а) $\Phi = 1{,}6\cdot10^{-8}\cos 4\pi t$ Вб; б) $\Phi_{max} = 1{,}6\cdot10^{-8}$ Вб. **13.167.** $A = IBa^2\sin\alpha = 6{,}84$ мДж. **13.168.** $A = \pi IBR^2 \times \left(1 - \frac{\pi}{4}\right) = 67{,}5$ мДж. **13.169.** $A = IBa^2(1 - \cos\alpha) = 0{,}2$ Дж. **13.170*.** $A = \pi\mu_0\mu HR^2 I(\cos 0 - \cos\alpha) = 5\cdot10^{-4}$ Дж. **13.171.** $M = \pi NR^2 BI\cos\beta = 1{,}8$ Н · м; $A = \pi NIBR^2\sin\beta \approx 3{,}2$ Дж. **13.172.** $A_1 = 0{,}024$ Дж; $A_2 = 0{,}048$ Дж; $A_3 = 0$. **13.173.** а) Поляризация диэлектрика; б) кратковременный индукционный ток; в) длительный индукционный ток. **13.175.** Кольцо будет отталкиваться. **13.177.** К центру диска. **13.178.** а) Да, если спутник построен из проводниковых материалов; б) нет, индукционные токи тормозят движение спутника. **13.179.** а) Прерывистый ток в телеграфной линии индуцирует ток в теле-

фонном проводе; б) чтобы в прямом и обратном проводах телефонной линии наводились ЭДС противоположного знака; в) оба провода ставят в одинаковые условия по отношению к индуцирующему проводу. **13.181.** а), г) Не будет; б), в), д) будет. **13.182.** а), б) Не будет; в) будет, исключая случай, когда ось вращения параллельна силовым линиям. **13.183.** $\mathscr{E} = N\dfrac{\Phi_1 - \Phi_2}{t} = 400$ В. **13.184.** $\mathscr{E}_i = NB\dfrac{\pi d^2}{4t}(\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1) = 0{,}24$ В. **13.185.** $\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \dfrac{\mathscr{E}_i}{N} = -600$ мВб/с. **13.186.** $N = \dfrac{\mathscr{E}t}{(B_1 - B_2)S} = 100$. **13.187.** $a = 2\sqrt{\dfrac{\mathscr{E}\Delta t}{B\sqrt{3}\cos\alpha}} \approx 10$ см.

13.188. $\mathscr{E} = 4$ В. См. рис. 85. **13.189.** См. рис. 86. **13.190*.** $\Phi(t) = (2 + 5t^2)10^{-4}$; $\mathscr{E}(t) = t \cdot 10^{-3}$; $\Phi_1 = 1{,}27 \cdot 10^{-2}$ Вб; $\mathscr{E}_i = 5 \cdot 10^{-3}$ В. **13.191*.** Уменьшилась в 2 раза. **13.192*.** $\mathscr{E}_i = -2\pi 10^{-3}\sin 2\pi t$. **13.193.** $E = Bv = 0{,}8$ В/м. **13.194.** $\Delta\varphi = Blv = 20$ мВ. **13.195.** $\mathscr{E} = Blv\sin\alpha = 5$ мВ. **13.196.** $B = \dfrac{\mathscr{E}}{vl\cos\alpha} = 3{,}6$ Тл. **13.197.** $\Delta\varphi = Blv\sin\alpha \approx 0{,}46$ В. **13.198.** $\Delta\varphi = Blv = 4{,}4$ мВ. **13.199.** $\Delta\varphi = Bl\sqrt{2gh} = 1{,}4 \cdot 10^{-2}$ В. **13.200.** $U_1 = \dfrac{B_в lgt}{2} = 4 \cdot 10^{-5}t$; $U_2 = \dfrac{B_г lgt}{2} = 1{,}6 \cdot 10^{-5}t$. **13.201.** $\Delta\varphi = Bbv$; $\sigma = \varepsilon_0 Bv$; $q = \varepsilon_0 Bvac$. **13.202.** $\varphi_A - \varphi_C = \dfrac{BaI}{neS}$.

13.203. $E = \dfrac{m\omega^2 r}{e} \pm \omega Br$, где $r < R$ — расстояние от оси цилиндра до точки, в которой находится напряженность электрического поля. **13.204.** $\Delta\varphi = B\dfrac{\omega l^2}{2} = 0{,}2$ В. **13.205.** $\Delta\varphi = B\pi l^2\nu = 15{,}7 \cdot 10^{-4}$ В. **13.206.** $B = \dfrac{2U}{\omega l^2}$.

13.207. $\Delta\varphi = Bl\left(R + \dfrac{l}{2}\right)\omega = 0{,}48$ В. **13.208.** $\Delta\varphi = 2Bl\sqrt{gh}\sin\dfrac{\alpha}{2} = 0{,}073$ В.

13.209*. $\Delta\varphi = x_m lB\sqrt{\dfrac{k}{m}} = 3{,}16 \cdot 10^{-3}$ В. **13.210.** $q = \dfrac{|\Phi_1 - \Phi_2|}{R} = 10^{-4}$ Кл.

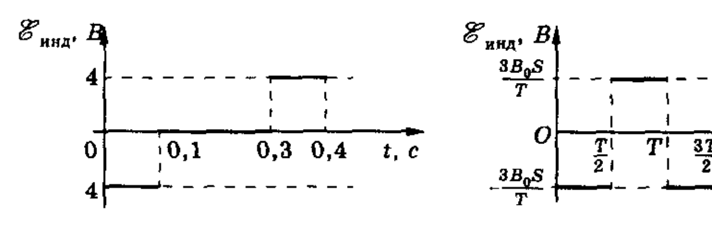


Рис. 85

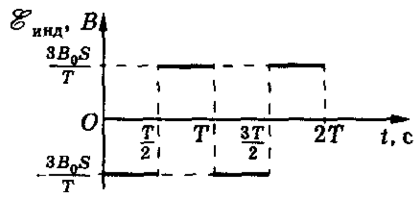


Рис. 86

13.211. $q = \frac{\pi r^2 B}{R}\sin\alpha \approx 2{,}5$ мКл. **13.212.** $q = \frac{BS}{R}(1 - \cos\alpha) = 1{,}2 \cdot 10^{-2}$ Кл. **13.213.** $q = \frac{BS}{R} = 12 \cdot 10^{-6}$ Кл. **13.214.** $\cos\alpha = 1 - \frac{qR}{BS} = -0{,}9$; $\alpha = 155°$. **13.215.** $q = \frac{2NBS}{R} = 10^{-4}$ Кл. **13.216.** $q = \frac{BSN}{R}(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$; а) $q_1 = 0{,}67$ мКл; б) $q_2 = 1{,}83$ мКл; в) $q_3 = 2{,}5$ мКл; г) $q_4 = 10$ мКл. **13.217.** $q = \frac{BrS}{2\rho} \approx 2{,}9 \cdot 10^{-3}$ Кл. **13.218.** $q = \frac{l^2 B}{16R} = 125$ мкКл. **13.219.** $q = \frac{Bl^2}{R}$. **13.220.** $q = \frac{mB}{16\rho_0\rho} \approx 4 \cdot 10^{-2}$ Кл, где ρ_0 — плотность меди, ρ — удельное сопротивление. **13.221.** $q = \frac{\pi BRd^2}{32\rho}(4 - \pi) = 0{,}496$ Кл. **13.222.** Возможны два случая: а) $q_1 = \frac{\pi r^2 B}{2R} = 0{,}56$ мКл, $q_2 = \frac{\pi r^2 B}{R} = 1{,}13$ мКл; б) $q_1 = \frac{\pi r^2 B}{2R} = 0{,}56$ мКл, $q_2 = 0$. **13.223.** Возможны три случая. Изменяем форму: 1) не выводя провод из плоскости: $\mathcal{E}_{iср} = \frac{3}{32}\frac{B\pi d^2}{\Delta t} = 5{,}9 \cdot 10^{-2}$ В; $q = \frac{3}{32}\frac{B\pi d^2}{R} = 2{,}9 \cdot 10^{-2}$ Кл; 2) перекручивая маленькое кольцо: $\mathcal{E}_{iср} = \frac{\pi Bd^2}{8\Delta t} = 7{,}85 \cdot 10^{-2}$ В; $q = \frac{\pi Bd^2}{8R} = 3{,}9 \cdot 10^{-2}$ Кл; 3) перекручивая большое кольцо: $\mathcal{E}_{iср} = \frac{3\pi Bd^2}{8\Delta t} = 0{,}23$ В; $q = \frac{3\pi Bd^2}{8R} = 0{,}12$ Кл. **13.224.** $\alpha = \arccos\left(-\frac{4qR}{\sqrt{3}Ba^2}\right) = 150°$. **13.225.** $I = \frac{\Delta B}{\Delta t}\frac{S}{R} = 1$ мА. **13.226.** $\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{16I\rho}{\pi Dd^2} = 10{,}8$ Тл/с. **13.227.** $I = \frac{S}{10R_1}\frac{dB}{dt} = 0{,}1$ А. **13.228.** См. рис. 87. **13.229.** $I = \frac{2B_0ctS}{R} = 10^{-6}$ А. **13.230*.** $I = \frac{S}{R}(2at - 3Bt^2) = 6t - 3t^2$; $t_1 = 1$ с; $I_{max} = \frac{a^2S}{3RB} = 3$ А. **13.231.** $U = \frac{1}{2}BR^2\omega = 1{,}5$ В. **13.232.** $P = N^2S^2\frac{\left(\frac{\Delta B}{\Delta t}\right)^2}{R} = 1 \cdot 10^{-9}$ Вт. **13.233.** $P = \frac{\alpha^2 l^4}{16\pi^2 R}$. **13.234.** $P = \frac{\left(\pi r^2 N\frac{\Delta B}{\Delta t}\right)^2}{R} =$

Рис. 87

$= 6{,}81$ Вт. **13.235.** $Q = \frac{B^2Sa^3(9 - 4\sqrt{3})^2}{768\rho\Delta t} = 5{,}68 \cdot 10^{-10}$ Дж. **13.236.** $Q = \frac{(\pi d^2 B)^2}{16R}\left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2}\right)$. **13.237.** $Q = \frac{\pi^2 B^2 r^3 d^2}{8\rho}\left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{4t_2}\right)$. **13.238.** $\mathscr{E}_i = Bav = 2 \cdot 10^{-4}$ В; $t_2 - t_1 = \frac{a}{v} = 0{,}02$ с; $t_3 - t_2 = 0{,}08$ с; $Q = \frac{2B^2va^3}{R} = 8 \cdot 10^{-8}$ Дж. См. рис. 88.

Рис. 88

13.239*. $I = \frac{Bva}{R}\sqrt{\frac{2b}{b + c}}$.
13.240. $P = \frac{B^2v^2l^2}{R} = 10$ Вт. **13.241.** $v = \frac{RF}{l^2B^2} = 2{,}5$ м/с; $P = \frac{F^2R}{l^2B^2} = 2{,}5 \cdot 10^{-5}$ Вт.
13.242. $F = \mu mg + \frac{l^2B^2v_0}{R} = 15{,}5$ мН. **13.243.** $I = \frac{hvB}{2R_1(h + l_0 + vt)} = 0{,}02$ А.
13.244. $I = \frac{BhvS}{2\rho(vt + h + l_0)}$. **13.245.** $v_{\max} = \frac{mar}{(Bl)^2} = 10$ м/с. **13.246.** Перемычка находится посередине рамки: $\varphi_C - \varphi_D = \frac{Blv}{4} = 21$ мВ; перемычка у правого края рамки $\varphi_C - \varphi_D = \frac{3}{7}Blv = 36$ мВ. **13.247.** $P = \frac{l^2v^2B^2}{2\lambda} = 1{,}76$ Вт.
13.248*. $I = \frac{k(S + lvt) + (B_0 + kt)lv}{R}$. **13.249.** $v_{\max} = \frac{(F + mg\sin\alpha)R}{B^2l^2\sin^2\alpha}$.
13.250. $v = \frac{mgR(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}{B^2l^2\cos\alpha(\mu\sin\alpha + \cos\alpha)} = 2{,}7$ м/с. **13.251.** $Q = \frac{B^2vl^2}{2\lambda}\operatorname{tg}\alpha$.
13.252. $I = \frac{Bv\sin\alpha}{\lambda(1 + \sin\alpha)}$. **13.253.** $v = \frac{\mathscr{E}}{lB} = 20$ м/с, влево; $I = \frac{2\mathscr{E}}{R} = 4$ А.
13.254. $Q = \left(\frac{\mathscr{E} \pm lvB}{R + r}\right)^2 Rt$; да. **13.255.** $v = \frac{\varepsilon}{Bl} - \frac{mgR}{B^2l^2}$. **13.256.** $q = CS\frac{\Delta B}{\Delta t} = 5 \cdot 10^{-10}$ Кл. **13.257.** $q = CN\frac{\Delta B}{\Delta t}\frac{\pi d^2}{4} = 6{,}28 \cdot 10^{-7}$ Кл; $W = \frac{q^2}{2C} = 9{,}9 \cdot 10^{-9}$ Дж.
13.258. $a = \frac{mg}{m + CB^2l^2}$. **13.259.** $a = \frac{F}{m + CB^2l^2} = 3{,}3$ м/с. **13.260.** $a = \frac{mg(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}{m + Cl^2B^2\cos\alpha(\mu\sin\alpha + \cos\alpha)} = 5{,}6$ м/с^2. **13.261.** $T = 2\pi\sqrt{\frac{(m - CB^2L^2)l}{mg}} =$

$= 0{,}95$ с. **13.262.** $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m + B^2l^2C}{2k}} = 0{,}63$ с. **13.263.** $I_{max} = \pi B\omega^2Cr^2$. **13.264.** $x = \dfrac{mg}{R}(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) + \dfrac{UBl}{R^2}(\cos\alpha + \mu\sin\alpha) \approx 11$ см. **13.265.** $F = \dfrac{B^2l^2\omega}{4R}$. **13.266.** $v = \dfrac{qB(l^2 + R^2)}{2mR}$. **13.267.** При замыкании сердечника якорем возрастает магнитный поток в сердечнике, поэтому в катушке возникает ЭДС самоиндукции, уменьшающая ток. **13.268.** Возможно меньшей длины и большего диаметра. Бифилярно, т. е. в два провода, токи которых направлены в противоположные стороны. **13.269.** Возникает ЭДС самоиндукции при размыкании. Лампы не обладают индуктивностью. **13.270.** При изменении силы сварочного тока в катушке возникает ЭДС самоиндукции, препятствующая этим изменениям. **13.271.** $L = \dfrac{\Phi}{I} = 0{,}05$ Гн. **13.272.** $I = \dfrac{\Phi}{L} = 0{,}5$ А. **13.273.** $\Phi = LI = 0{,}2$ Вб. **13.274.** $|\mathscr{E}_c| = L\dfrac{\Delta I}{\Delta t} = 0{,}8$ В; $\Delta\Phi = L\Delta I = 8 \cdot 10^{-3}$ Вб. **13.275.** $L = \dfrac{\mathscr{E}_c}{\left(\dfrac{dI}{dt}\right)} = 0{,}1$ Гн. **13.276.** $\mathscr{E} = L\dfrac{I}{t} = 20$ В. **13.277.** $L = \dfrac{\mathscr{E}}{\left(\dfrac{\Delta I}{\Delta t}\right)} = 0{,}5$ Гн. **13.278.** $\dfrac{\Delta I}{\Delta t} = \dfrac{\mathscr{E}}{L} = 10$ А/с. **13.279.** $L = \dfrac{8\Delta t}{I_1 - I_2} = 2{,}5$ Гн. **13.280.** $I_i = \dfrac{\pi r^2B_0}{L}$. **13.281.** $\Phi = \dfrac{LI}{N} = 80$ мкВб. **13.282.** $L = \dfrac{\Phi N}{I} = 5$ Гн. **13.283.** $N = \dfrac{4Ld}{\pi\mu_0D^2} = 10^3$. **13.284.** $\mathscr{E}_i = \dfrac{NBS}{t} = 3$ кВ. **13.285.** $W_м = 10$ Дж; увеличится в 4 раза. **13.286.** $I = \dfrac{2W}{\Phi} = 10$ А. **13.287.** $I = \sqrt{\dfrac{2W_м}{L}} = 1{,}4$ А. **13.288.** $L = \dfrac{\Delta W}{\Delta II} = 10^{-3}$ Гн. **13.289.** $\Phi = \dfrac{\mu_0IN^2S}{l} = 25$ мВб; $W_м = \dfrac{\mu_0N^2SI^2}{2l} = 0{,}12$ Дж. **13.290.** $|E_c| = N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 12{,}8$ В; $\Delta W = \dfrac{\Delta\Phi(I_1 + I_2)}{2} = 2 \cdot 10^{-2}$ Дж. **13.291.** $W = \dfrac{LU^2}{2R^2} = 0{,}56$ Дж; $Q = W = 0{,}56$ Дж. **13.292.** $q = \dfrac{2(n-1)W_м}{nIR}$; уменьшится на $\Delta W = (n^2 - 1)\dfrac{W_м}{n^2}$. **13.293.** $\Delta I = \dfrac{\Delta\varphi}{L}\Delta t = 40$ А.

13.294. $q = \frac{\Delta\Phi - L\Delta I}{R} = 2,5 \cdot 10^{-5}$ Кл. **13.295.** $\varphi_A - \varphi_B = -L\frac{dI}{dt} + IR = 0,04t(1 + 5t) = 2(Rt + L) = 0,2(t + 0,1) = 0,22$ В. **13.296.** $\omega = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0\mu} = 1,57$ кДж/м^3; $W = \omega \cdot V = 3,14$ кДж.

14. Электромагнитные колебания и волны

14.2. $T = 2\pi\sqrt{LC} = 6,28 \cdot 10^{-4}$ с. **14.3.** $\nu = 0,62$ МГц. **14.4.** $L = \frac{1}{4\pi^2\nu^2C} = 12,68$ мГн. **14.5.** $C = \frac{1}{4\pi^2\nu^2L} = 0,2$ мкФ. **14.6.** Период увеличится в $\sqrt{8}$ раз, а частота уменьшится в $\sqrt{8}$ раз. **14.7.** $T = 2\pi\sqrt{2LC} \approx 10^{-6}$ с. **14.8.** а) $\nu = \frac{\nu_1\nu_2}{\sqrt{\nu_1^2 + \nu_2^2}} = 24$ кГц; б) $\nu = \sqrt{\nu_1^2 + \nu_2^2} = 50$ кГц. **14.9.** $d = \frac{4\pi^2\varepsilon_0 LS}{T^2} = 3,49$ мм. **14.10.** $\nu = \frac{1}{2\pi N}\sqrt{\frac{dl}{\mu_0\varepsilon_0 S_1 S_2}} = 0,48$ МГц. **14.12.** $u = 5\cos(2 \cdot 10^3 t)$; $i = -5 \cdot 10^{-3}\sin(2 \cdot 10^3 t)$; $W_э = 6,25 \cdot 10^{-6}\cos^2(2 \cdot 10^3 t)$; $W_м = 6,25 \cdot 10^{-6} \times \sin^2(2 \cdot 10^3 t)$. **14.13.** Метод векторных диаграмм. **14.14.** $T = 10^{-3}$ с; $L \approx 1$ Гн; $i = -1,6 \cdot 10^{-3}\sin(2 \cdot 10^3\pi t)$; $W_м = W_э = 1,3 \cdot 10^{-6}$ Дж. **14.15.** $L = 0,1$ Гн, $U = 1$ В. **14.16.** $i = U_m\sqrt{\frac{C}{2L}} = 0,01$ А. **14.17.** $\nu = \frac{1}{2\pi}\frac{I_m}{q_m} = 1,6 \cdot 10^6$ Гц. **14.18.** $U_m = I_m\sqrt{\frac{L}{C}} = 500$ В. **14.19.** $I_m = U_m\sqrt{\frac{C}{L}}$. **14.20.** $I_m = \sqrt{\frac{u^2C}{L} + i^2} = 0,012$ А. **14.21.** $i \approx 1$ А; $u = 200$ В. **14.22.** $\mathscr{E} = \frac{LdI_m^2}{\varepsilon_0 SU_m^2} = 7$. **14.23.** $Q = 0,5$ Дж. **14.24.** $\eta = \frac{R}{\nu L} = 10^{-5}$; $\eta\% = 0,001\%$. **14.25.** $P = \frac{U_m^2 CR}{2L} = 1,16 \cdot 10^{-3}$ Вт. **14.26.** $I = U_m \times \sqrt{\frac{C}{2L}} = 43,8$ мА; $\Phi = N\frac{U}{\sqrt{LC}} = 1,3 \cdot 10^8$ Вб. **14.27.** $q_m = \frac{CU}{2}\sqrt{2 - \cos^2\left(\frac{t}{\sqrt{LC}}\right)}$. **14.28*.** $F = \frac{3C\mathscr{E}^2}{4d}$ — сразу после замыкания ключа; $F = \frac{C\mathscr{E}^2}{2L}$ — после затухания колебаний. **14.29*.** $x = \frac{v_0}{\omega}\sin\omega t$, где $\omega = \frac{lB}{\sqrt{mL}}$. **14.30.** $T = 0,02$ с;

$\nu = 50$ Гц. **14.31.** Увеличится в 3 раза; увеличится в 3 раза. **14.32.** $e_1 = 10$ В; $e_2 = 20$ В; $e_3 = 0$. **14.33.** $T = \frac{1}{n} = 0{,}02$ с; $\mathscr{E}_m = 2\pi BSn = 6{,}28$ В. **14.34.** $\mathscr{E}_m = 100$ В, $\nu = 400$ Гц, $T = 2{,}5 \cdot 10^{-3}$ с, $\varphi = 800\pi t$; $\varphi_0 = 0$. **14.35.** а) $e = 0$; б) $e = BS\omega \times \sin(\omega t + \varphi)$. **14.36.** В 2 раза уменьшится период колебаний и во столько же раз увеличится амплитуда ЭДС. **14.37.** Нормаль к плоскости рамки параллельна силовым линиям магнитного поля; $\Phi_m = 0{,}01$ Вб; $e = 0{,}31\sin 10\pi t$. **14.38.** $N = \frac{\mathscr{E}}{2\pi\nu BS} = 100$. **14.39.** $\mathscr{E}_m = \frac{2\pi BSN}{T} = 2{,}5$ В. **14.40.** $T = \frac{2\pi BSN}{\mathscr{E}_m} = 0{,}04$ с. **14.41.** $e = \mathscr{E}_m \sin\frac{\mathscr{E}_0 t}{SBN} = 5{,}16$ В. **14.42.** $\Delta t = \frac{\pi^2 n^2 SB^2 t}{8cD\rho} = 3{,}18$ К, где D — плотность меди, ρ — удельное сопротивление меди, c — удельная теплоемкость меди. **14.43.** $n = \frac{\nu}{k} = 500$ об/мин. **14.44.** $U_m = 11{,}5$ В; $\omega = 628$ с$^{-1}$; $\nu = 100$ Гц. **14.45.** $\mathscr{E}_m = \frac{e}{\sin\varphi} = 240$ В; $\mathscr{E} = 170{,}2$ В. **14.46.** $I = 6$ А; $\varphi_0 = 0{,}651$ рад; $\nu = 50$ Гц; $i_1 = 5$ А; $i_2 = 8{,}14$ А. **14.47.** а) $I = \frac{I_m}{4}\sqrt{5}$; б) $U = \frac{U_m}{4}\sqrt{5}$; в) $U = U_m\sqrt{\frac{2}{3}}$; г) $I = \frac{I_m}{2}$; д) $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$. **14.48.** $Q = \frac{It}{\sqrt{2}} = 5091$ Кл. **14.49.** $U_m = 608$ кВ. **14.50.** $U_m = 311$ В. **14.51.** $\eta = \frac{1}{2}$. **14.52.** $t = 0{,}01$ с. **14.53.** $Q = \frac{I_m^2}{2}Rt = 39{,}6$ МДж. **14.54.** $T = 10^{-4}$ с; $\nu = 10$ кГц. **14.55.** $I = \frac{U\sqrt{2}}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{4\pi^2\nu^2 C^2}}} = 1{,}4$ А. **14.56.** $C = \frac{I_л}{2\pi\nu\sqrt{U_m^2 - U_л^2}} = 7$ мкФ. **14.57.** $0 \leqslant U_{АК} \leqslant 2U$, где $U = 127$ В. **14.58*.** См. рис. 89. **14.59.** $P = \frac{4\pi^2\nu^2 C^2 RU^2}{(1 + 2\pi\nu CR)} = 0{,}15$ Вт. **14.60.** $L = 0{,}1$ Гн. **14.61.** $X_L = 25{,}12$ кОм. **14.62.** $U_{AC} = \sqrt{U_{AB}^2 + U_{BC}^2} = 50$ В. **14.63.** $\varphi_2 = \operatorname{arctg}(2\operatorname{tg}\varphi_1) = 59{,}2°$. **14.64.** $\Delta\varphi = 0{,}25$ рад; $u_1 = -46$ В; $i = -8{,}8$ А. **14.65.** 1) $I = 2$ А; 2) $I_m = \frac{U\sqrt{2}}{\sqrt{R^2 + 4\pi^2\nu^2 L^2}} = 5{,}6$ мА. **14.66.** $R_0 = \sqrt{\frac{R_2^2 - R_1^2}{3}} =$

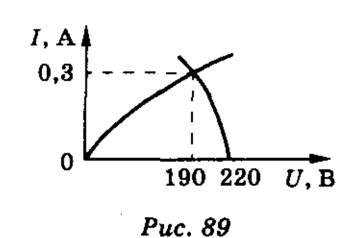


Рис. 89

Ответы

$= 50$ Ом. **14.67.** $I_{AC} = \dfrac{I_1 I_2}{\sqrt{(I_2 \sin(\Delta\varphi_1 + I_1 \sin \Delta\varphi_2))^2 + (I_2 \cos(\Delta\varphi_1 + I_1 \cos \Delta\varphi_2))^2}} =$

$= 0{,}86$ А. **14.69.** $I = \dfrac{U^2 t_1}{2L(\mathcal{E} - U)(t_1 + t_2)} = 0{,}89$ А. **14.70.** $I_{3m} = 5$ А. **14.71.** $U_m =$

$= \dfrac{\mathcal{E}_m \omega L}{R}$. **14.72*.** $\operatorname{tg}\varphi = \dfrac{4\pi^2\nu^2 LC - 1}{2\pi\nu CR} = -3{,}02$; $\varphi = -72°40'$. $P =$

$= \dfrac{U_m^2 R}{2\left(R^2 + \left(2\pi\nu L - \dfrac{1}{2\pi\nu C}\right)^2\right)^2} = 0{,}5$ Вт. **14.73*.** $I_m = 1{,}6$ А; $\varphi = 57°$; $\cos\varphi =$

$= 0{,}54$; $P = 1134$ Вт. **14.74*.** $P = \dfrac{U^2}{R}\cos^2\varphi$. **14.75.** $X_{1L} = 157$ Ом, $X_{2L} = 31{,}4$ кОм, $X_{1C} = 31{,}8$ кОм, $X_{2C} = 15{,}9$ Ом, $Z_1 = 3{,}19$ кОм, $Z_2 = 31{,}4$ кОм. **14.76.** $I =$ $= 2{,}035$ А; $\varphi = 56{,}6°$; $U_R = 40$ В; $U_L = 126$ В; $U_C = 62{,}6$ В; $P = 80$ Вт.

14.77. Да. **14.78.** $L = \dfrac{\sqrt{\left(\dfrac{U_2}{I_2}\right)^2 - \left(\dfrac{U_1}{I_1}\right)^2}}{2\pi\nu} = 1{,}27 \cdot 10^{-2}$ Гн;

$P = \dfrac{U_2^2 U_1}{I_1\left(\dfrac{U_1^2}{I_1^2} + \left(2\pi\nu L + \dfrac{1}{2\pi\nu C}\right)^2\right)} = 17{,}1$ Вт. См. рис. 90.

Рис. 90

14.80. $I_m = \dfrac{\mathcal{E}_m}{R}$. **14.81.** $\omega = 200\ \text{с}^{-1}$. **14.82.** $I =$

$= \dfrac{U}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi\nu C - \dfrac{1}{2\pi\nu C}\right)^2}} = 1{,}17$ А; $\nu_{рез} = 50{,}35$ Гц; $I_{рез} = 27{,}5$ А; $U_L = U_C =$

$= 1739$ В. **14.83.** $C = \dfrac{1}{\omega^2 L}$; $P_m = \dfrac{U_m^2}{2R}$. **14.84.** $I = \dfrac{U}{R} = 20$ А; $U_C = U_L = \dfrac{U}{R} X_L =$

$= 200$ В; $U_R = U = 120$ В. **14.85*.** $L = 2$ Гн; $C = 5$ мкФ. **14.86.** $C = C_0\left(\left(\dfrac{\nu_1}{\nu_2}\right)^2 - 1\right) =$

$= 15$ мкФ. **14.87.** $Z = 0$, и поэтому $I_m = \dfrac{15}{0} = \infty$. Полученный ответ показывает, что если омическое сопротивление контура очень мало (можно считать $R = 0$), то I_m очень велико. **14.88.** $q_m = \dfrac{q}{R}\sqrt{\dfrac{L}{C}} = 10^{-8}$ Кл. **14.89.** $C = 35{,}4$ мкФ;

$C_{рез}$ = 14,5 мкФ; $I_{рез}$ = 2,2 А. **14.90.** P_1 = 13,77 кВт. **14.91.** Сгорят обмотки трансформатора или предохранитель. **14.92.** Сила тока мала, и активное сопротивление вторичной обмотки мало. **14.94.** $N_1 = N_2\frac{U_1}{U_2} = 2{,}2\cdot 10^4$.

14.95. $U_2 = U_1 = \frac{N_2}{N_1}$ = 1200; повышает в K = 10 раз. **14.96.** $\begin{cases} I_1 = 0{,}44 \text{ А}, \\ I_2 = 0{,}21 \text{ А}; \end{cases}$ $\begin{cases} I_1 = 0{,}147 \text{ А}, \\ I_2 = 0{,}073 \text{ А}. \end{cases}$ **14.97.** $I = \frac{\mathscr{E}Rr}{N(R_2r + R_1R_2 + R_1r)}$. **14.98.** $U_2 = \frac{U_1 - KI_2R_2}{K} =$ = 21,5 В. **14.99.** I_2 = 0,1 А. **14.100.** N_2 = 400. **14.101.** K = 10; η = 91%.

14.102. η = 95%. **14.103.** R = 1,2 Ом; U_2 = 6 В. **14.104.** $K = \frac{1}{3}$; N_2 = 2520, в первичной. **14.105.** U_2 = 20 В. **14.106.** I_2 увеличится, U_2 уменьшится, I_1 увеличится, U_1 практически не изменится. **14.107.** $e = 314\sin 314t$; $\mathscr{E}$ = 222 В. **14.108.** U = 1320 В. **14.109.** L = 3,5 Гн. **14.112*.** $\cos\varphi = \frac{U_2I_2}{\eta U_1I_1} =$ = 0,74; $\varphi = 42°24'$. **14.122.** $\nu = \frac{c}{\lambda} = 3{,}75\cdot 10^{11}$ с$^{-1}$. **14.123.** ν = 600 ГГц.

14.124. $\nu = 2\cdot 10^{14}$ Гц; λ = 1500 нм. **14.125.** $N = 5\cdot 10^4$. **14.126.** $\nu = 5\cdot 10^5$ Гц. **14.127.** λ = 214,3 м. **14.128.** $T = 2\cdot 10^{-11}$ с; $\nu = 5\cdot 10^{10}$ Гц. **14.129.** $\lambda = \frac{c}{\nu}$ = 15 м. **14.130.** λ = 200 м; λ_0 = 300 м. **14.132.** а) Можно, система отсчета должна двигаться с той же скоростью, что и электроны; б) нельзя. **14.133.** Усиление. Ослабление. **14.134.** Усиление. **14.135.** $\lambda = 2\pi c\sqrt{LC}$ = 37,7 км. **14.136.** $L = \frac{\lambda^2}{4\pi^2c^2C} = 10^{-6}$ мкГн. **14.137.** λ_1 = 204 м; λ_2 = 102 м. **14.138.** λ = 188 м.

14.139. 3 м $\leqslant \lambda \leqslant$ 9 м. **14.140.** $C = \frac{\lambda^2}{4\pi^2c^2L} = 2{,}8\cdot 10^{-11}$ Ф. **14.141.** $\eta = \frac{\nu_0^2\lambda^2}{c^2} =$ = 2,25. **14.142.** C = 2,5 пФ; d = 8,85 мм. **14.143.** λ = 10 м. **14.144.** l_{min} = 120 м; l_{max} = 90 км. **14.145.** $s = \sqrt{2R_3H} + \sqrt{2R_3h}$ = 73 км, где R_3 — радиус Земли. **14.146.** N = 5000. **14.147.** N = 4000; l = 37,5 км. **14.148.** s = 10 км, Δt = = 67 мкс, увеличить. **14.150*.** $\Delta\lambda = \frac{c}{\nu(\sqrt{\varepsilon} - 1)}$. **14.152.** $E = P\Delta t$ = 21 мДж; $P_1 = P\Delta tN$ = 21 Вт; s = 150 м.

15. Геометрическая оптика

15.3. $r = \dfrac{ad}{2(a+b)} = 0{,}75$ м. **15.4.** $l = 0{,}8$ м. **15.5.** $H = h\dfrac{L+l}{l} = 1{,}5$ м.

15.6. $H = \dfrac{(d + l_2 - l_1)h}{l_2 - l_1} = 3{,}2$ м. **15.12.** Изображение будет мнимое, расположено на таком же расстоянии от зеркала, что и источник S. **15.15.** См. рис. 91. **15.16.** См. рис. 92. **15.18.** $\gamma = 65°$. **15.19.** Под углом $\varphi_1 = 66°$ или под углом $\varphi_2 = 24°$ к поверхности стола. **15.20.** $\beta_1 = 35°$; $\beta_2 = 55°$.

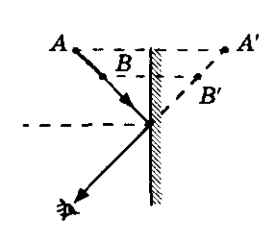


Рис. 91

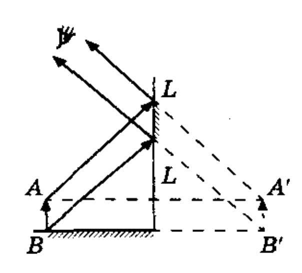


Рис. 92

15.21. $s = H\operatorname{ctg}\alpha = 1{,}04$ м. **15.22.** $d = \dfrac{lh}{h+H} = 1{,}2$ м. **15.23.** $s = \dfrac{l}{2} = 0{,}5$ м.

15.24. $D = 2d\dfrac{H}{h} = 16$ см (не зависит от l). **15.25.** $h = \dfrac{H}{2}$, $s = \dfrac{H}{2}$, не зависит.

15.26. $h \geqslant \dfrac{Hl}{l+L}$; $s = \dfrac{yL}{l+L}$. См. рис. 93. **15.27.** $h = \dfrac{Hl_0}{l+2l_0} = 7{,}5$ см; $b = \dfrac{Bl_0}{l+2l_0} = 20$ см. **15.28.** $u = v = 0{,}5$ м/с, $u_1 = 2v = 1$ м/с. **15.29.** $u = \sqrt{v^2 + 4v'^2} = 5$ см/с. **15.30.** Вертикально вверх с той же скоростью $v = 2$ м/с. **15.31.** а) $v_x = 0$; б) $v_x = 2u$. Линейные размеры зайчика в 2 раза

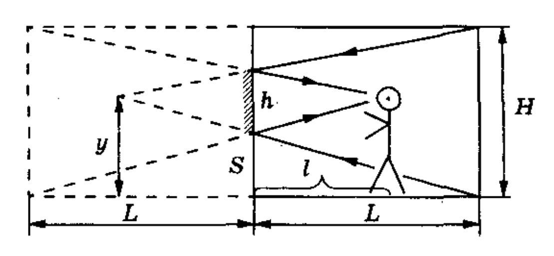


Рис. 93

больше линейных размеров зеркала и не зависят от его движения. **15.32.** $\gamma = 2\beta = 20°$. **15.33.** $\omega' = 2\omega$. **15.34.** $v = 2\omega l$. **15.35.** $\varphi = \frac{\Delta x}{2R} = 27{,}5'$. **15.36.** Центр находится на линии пересечения зеркал (в плоскости, перпендикулярной зеркалам и проходящей через источник). **15.37.** $d = 2l\sin\varphi \approx 3{,}5$ мм. **15.38.** $\varphi = 120°$. **15.39.** $\varphi = \arccos\frac{l^2 - a_1^2 - a_2^2}{2a_1a_2} = 90°$. **15.40.** H. **15.41.** $t = \frac{\arcsin\left(\frac{l}{2h}\right)}{\omega} = 20$ с. **15.42.** $v_x = \frac{v}{4} = 1{,}25$ м/с. **15.43.** $v_{отн} = 2v = 3$ см/с. $s's'' = 2\sqrt{y_0^2 + (x_0 + vt)^2} = 13$ см. **15.44.** $u = 2v\sin\alpha = v\sqrt{3}$. **15.45.** $\varphi = \arccos\frac{l^2 - 4a_1^2 - 4a_2^2}{8a_1a_2} = 120°$. См. рис. 94. **15.47.** а) $n = 8$, $\alpha_2 = \pm 160°$, на линиях — продолжениях зеркал; б) $n = 6$, $\alpha = \pm 174°$, область, находящаяся позади обоих зеркал ($151° < \alpha < 209°$). См. рис. 95. **15.48.** а) $n = 7$; $\delta = 30°$, $90°$, $120°$, $\pm 180°$, $-60°$, $-90°$, $-150°$; б) $n = 9$; $\delta = 20°$, $80°$, $100°$, $160°$, $180°$, $-60°$, $-140°$, $-160°$. **15.49.** а) $\varphi = 45°$; б) $40° \leqslant \varphi < 51{,}4°$, $\varphi \neq 45°$; в) n — нечетное: $\varphi = \frac{360°}{n+1}$; n — четное: $\frac{360°}{n+1} \leqslant \varphi < \frac{360°}{n-1}$, $\varphi \neq \frac{360°}{n}$.

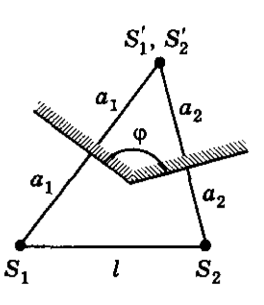


Рис. 94

15.50. Если $\alpha \leqslant \frac{\pi}{2}$, $\varphi = 2\alpha$; если $\frac{\pi}{2} < \alpha < \pi$, $\varphi = 2\alpha - \pi$ (не зависит от первоначального угла падения). **15.51.** $\varphi = 60°$. **15.52.** $\varphi = 90°$, причем луч падающий лежит в плоскости, перпендикулярной ребру двугранного угла. **15.53.** а) $\varphi = 60°$; б) $\varphi = 30°$. **15.54.** См. рис. 96. **15.55.** См. рис. 97.

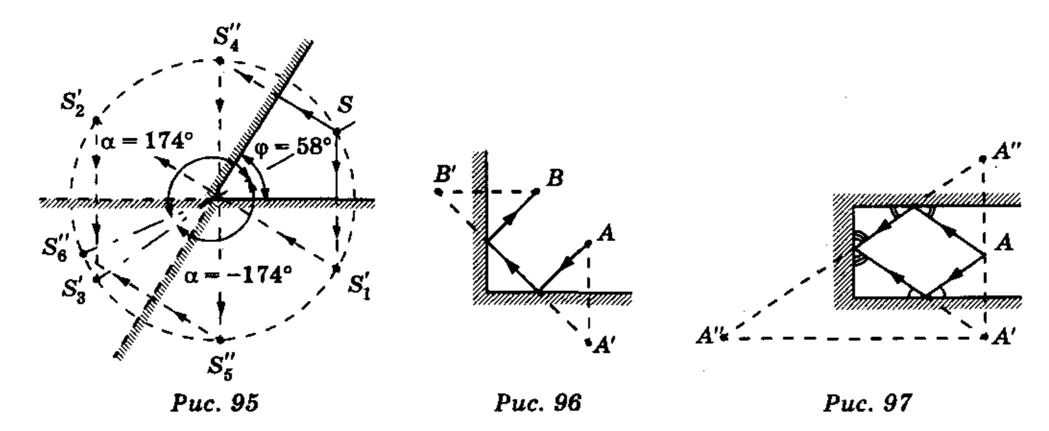


Рис. 95 *Рис. 96* *Рис. 97*

Ответы

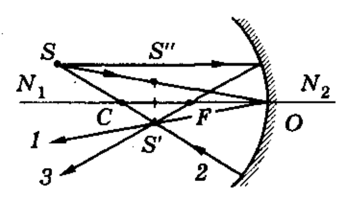


Рис. 98

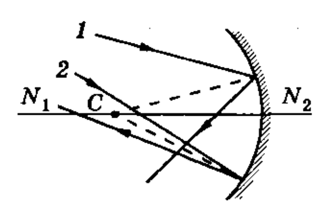


Рис. 99

15.56. Последовательно строить изображение точки B в зеркале cd, затем B' — в ad, B'' — в ab и т. д. **15.57*.** а) $R = 2x = 60$ см; б) $F = \dfrac{R}{2} = 20$ см; в) $F = \infty$. **15.59*.** См. рис. 98. **15.60*.** См. рис. 99. **15.61*.** См. рис. 100. **15.62*.** $d = 2\left(L\dfrac{r}{F} + \dfrac{D}{2}\right) = \dfrac{2Lr}{F} + D = 3{,}5$ м. **15.63*.** $b = \dfrac{aF}{a - F} = 60$ см; $h = \dfrac{b}{a}H = 25$ см.

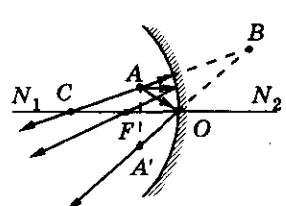


Рис. 100

15.64*. $F = \dfrac{\Gamma L}{\Gamma^2 - 1} = 7{,}5$ см. **15.65*.** $R = 2na = 6$ м. **15.66*.** $L = \dfrac{aR}{R - 2f} = 30$ см; $L > 0$, изображение действительное. **15.67*.** $x = \dfrac{h}{2}$. **15.68*.** Параболоид вращения, если его ось параллельна лучам. **15.74.** $\alpha_2 = \arcsin\left(\dfrac{n_2}{n_1}\sin\alpha_1\right) = 46{,}3°$. **15.75.** $\alpha = \mathrm{arcctg}\left(\mathrm{ctg}\,\beta - \dfrac{1}{n\sin\beta}\right) = 37°$. **15.76.** $\alpha = 2\arccos\dfrac{n}{2} = 60°$. **15.77.** $\alpha = \mathrm{arctg}\,\dfrac{n_2}{n_1} = 48{,}4°$. **15.78.** $\alpha = \arccos(n\cos\beta) = 48{,}3°$. **15.79.** $\varphi = \arcsin(n\sin\alpha) - \alpha = 7°$. **15.80.** $\Delta x = h\left(\mathrm{ctg}\,\alpha - \dfrac{\cos\alpha}{\sqrt{n^2 - \cos^2\alpha}}\right) = 19$ см. **15.81.** $l_1 = h\,\mathrm{ctg}\,\alpha = 1{,}73$ м; $l_2 = h\,\mathrm{ctg}\,\alpha + H\dfrac{\cos\alpha}{\sqrt{n^2 - \cos^2\alpha}} = 3{,}45$ м. **15.82.** $x =$

$= \dfrac{(1-\eta)}{\left(1 - \dfrac{\cos\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}}\right)} \approx 0{,}67$. **15.83.** $r = R - \dfrac{H}{\sqrt{n^2-1}} = 5{,}72$ м. **15.84.** $\varphi = \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{\pi}{2} + \alpha \pm \arcsin(n\sin\beta)\right)$; $\varphi_1 = 20°$; $\varphi_2 = 80°$. **15.85.** $\varphi = \dfrac{1}{2}\arcsin\left(\dfrac{\sin\alpha}{n}\right) = 20{,}3°$. **15.86.** $\gamma = \arccos\left(\dfrac{\cos\alpha}{n}\right) - \alpha = 19{,}4°$. **15.87.** $H = nh \approx 80$ см. **15.88.** $l = nh = 5{,}32$ м. **15.89.** $h = \dfrac{h_1}{n_1} + \dfrac{h_2}{n_2} \approx 5{,}6$ см. **15.90.** $h = h_0\dfrac{n_2}{n_1}$. **15.91.** $l = n\left(\dfrac{d}{2} - h\right) = 10$ см. **15.92.** На расстоянии $h' = nh + d$ от источника. **15.95.** а) $\beta = \arcsin(n\sin\alpha) = 41{,}7°$; б) преломленного луча нет (полное внутреннее отражение). **15.96.** $\alpha_{стекла} = 42°$, $\alpha_{алмаза} = 24°$. **15.97.** $n = 2$. **15.98.** $n_2 = n_1\sin\alpha_{пр} = 1{,}06$. **15.99.** $\beta_1 = \arcsin(\mathrm{ctg}\,\alpha) = 40{,}5°$. **15.100.** $\alpha_3 = \arcsin\left(\dfrac{\sin\alpha_2}{\sin\alpha_1}\right) = 62{,}4°$. **15.101.** $\alpha_{пр\,32} = \arcsin\left(\dfrac{\sin\beta_{13}}{\sin\beta_{12}}\right) = 45°$. **15.102.** а) Будут параллельны; б) из стекла в воздух луч *2* не выйдет. **15.103.** а) $h = \dfrac{D}{2}\sqrt{n^2-1} = 3{,}0$ см; б) $h = 2$ см (на поверхности). **15.104.** $l = \dfrac{2H-h}{\sqrt{n^2-1}} = 20{,}9$ м, при меньших значениях l отчетливому изображению мешают лучи дневного света. **15.105.** $S = \pi\left(\dfrac{d}{2} + \dfrac{h}{\sqrt{n^2-1}}\right)^2 = 88$ м^2. **15.106.** $\beta = \dfrac{1}{2}\arcsin\left(\dfrac{1}{n^2}\left(\sqrt{n^2-\sin^2\alpha} - \sin\alpha\sqrt{n^2-1}\right)\right)$. **15.107.** $\alpha \geqslant \arcsin\dfrac{n_в}{n_{ст}} = 62{,}5°$. **15.108.** б) Да. **15.109.** $r = \dfrac{R}{2}$. **15.110.** Светлое пятно будет в виде кольца $S = \dfrac{3}{4}\pi r(3r + 4d\sqrt{3}) = 23{,}4$ см^2. **15.111.** $D = 2L\dfrac{\sqrt{n^2-1}}{2-n^2} = 8{,}86$ см. **15.112.** $R = \dfrac{ln}{n-1}$. **15.113.** $\Delta x = h\sin\alpha\left(1 - \dfrac{\cos\alpha}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}}\right) \approx 1$ см. **15.114.** $\Delta x = h\,\mathrm{tg}\,\alpha\left(1 - \dfrac{\cos\alpha}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}}\right) = 0{,}47$ см. **15.115.** $\alpha = \mathrm{arctg}\,n = 56{,}3°$; $\Delta x = \dfrac{h(n^2-1)}{n\sqrt{n^2+1}} = 2{,}3$ см. **15.116.** $\Delta x = h\dfrac{h-1}{n}$. **15.117.** $l = \dfrac{2d}{n}$; не зависит от поло-

Ответы

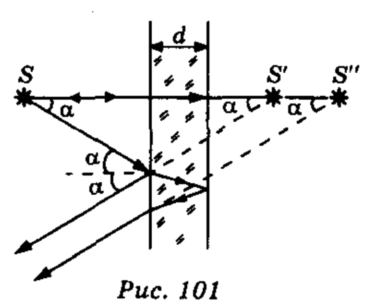


Рис. 101

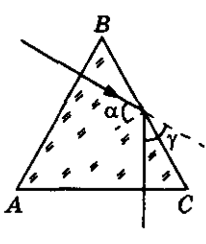


Рис. 102

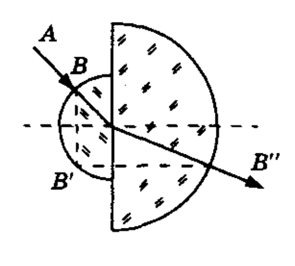


Рис. 103

жения точки S. См. рис. 101. **15.118.** $l = d\sin\alpha\left(\frac{n\cos\alpha}{\sqrt{1-n^2\sin^2\alpha}} - 1\right)$. **15.119.** $x = \frac{2h\sin\alpha}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}} = 0{,}97$ м. **15.120.** а) $\varphi = \alpha = 60°$; б) $L = \frac{2nd}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}} = 2{,}3$ см; в) $x = \frac{d\sin 2\alpha}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}} = 0{,}58$ см. **15.121.** $\Delta\varphi = \arcsin\frac{n_1\sin\alpha}{n_3} - \alpha = -19{,}5°$.

15.122*. а) $N = 1 + \frac{\lg\left(\frac{n_1}{n_0\sin\alpha}\right)}{\lg k} = 4$; б) $n_N = \frac{n_1}{k^{N-1}} = 1{,}04$; в) нет. **15.123.** $\gamma = \arcsin(n\sin\delta) - \delta = 30°$; $n_{min} = 2$. **15.124.** $\delta \approx \arcsin\left(\frac{1}{n}\right) \approx 40°$. **15.125.** $\gamma = 60°$, угол падения луча на грань BC больше предельного угла полного внутреннего отражения $\alpha_0 = \arcsin\frac{1}{n} = 48{,}6°$. См. рис. 102. **15.126.** $n \geqslant 1{,}41$. **15.128.** 1) $\varphi = \arcsin\left(\frac{1}{4}\left(\sqrt{3(4n^2-1)} - 1\right)\right)$; 2) $\varphi = 0$. **15.129.** $\gamma = 2\arcsin\left(n\sin\frac{\delta}{2}\right) - \delta = 32{,}3°$. **15.130.** $\alpha \leqslant \arcsin\left[\frac{\sqrt{n^2-1}-1}{\sqrt{2}}\right] = 31{,}3°$. **15.131.** $\alpha_{max} = \arcsin\left(\cos\delta\sqrt{n^2-1} - \sin\delta\right) = 31{,}2°$. **15.132.** $\gamma = \delta(n-1) = 1{,}5°$. **15.134.** См. рис. 103. **15.135.** $x = \frac{nR^2}{n\left(\sqrt{R^2-a^2} - \sqrt{R^2-n^2a^2}\right)} = 11$ см. **15.136.** $y = x$. **15.137.** $R = L\sqrt{n^2-1} - nr = 2$ см. **15.138.** $n = \frac{1}{2\sin\frac{\pi}{12}} = 1{,}93$. **15.139.** $a = Rn\sqrt{1-\frac{n^2}{4}} = 9$ см. **15.140.** $\beta = 2\left(\alpha - \arcsin\left(\frac{\sin\alpha}{n}\right)\right)$. **15.141.** $n = \frac{4}{3}$. **15.142.** $n = \frac{2m}{m+1} = \frac{4}{3}$. **15.143.** $L = r\left(\sqrt{3} + \frac{1}{2}\right) \approx 2{,}23r = 4{,}46$ см. **15.144.** $n = \frac{\sqrt{k}+1}{2} = 1{,}5$. **15.145.** Изображение

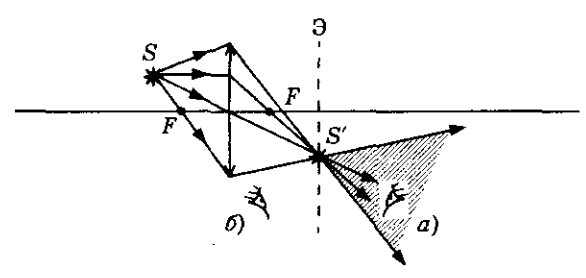


Рис. 104

действительное, перевернутое. Изображение S' можно увидеть «висящим» в воздухе в области а), заштрихованной на рисунке 104. Если поставить экран, то изображение S' можно увидеть на экране Э (б). **15.146**. См. рис. 105. а) $f \to F$, изображение в фокусе, где f — расстояние от линзы до изображения; б) $2F > f > F$, изображение перевернутое, действительное, уменьшенное; в) $f = 2F$, изображение действительное, перевернутое, равное; г) $f > 2F$, изображение действительное, перевернутое, увеличенное; д) $f \to \pm\infty$, изображения не будет; е) $|f| > d$, изображение мнимое, прямое, увеличенное.

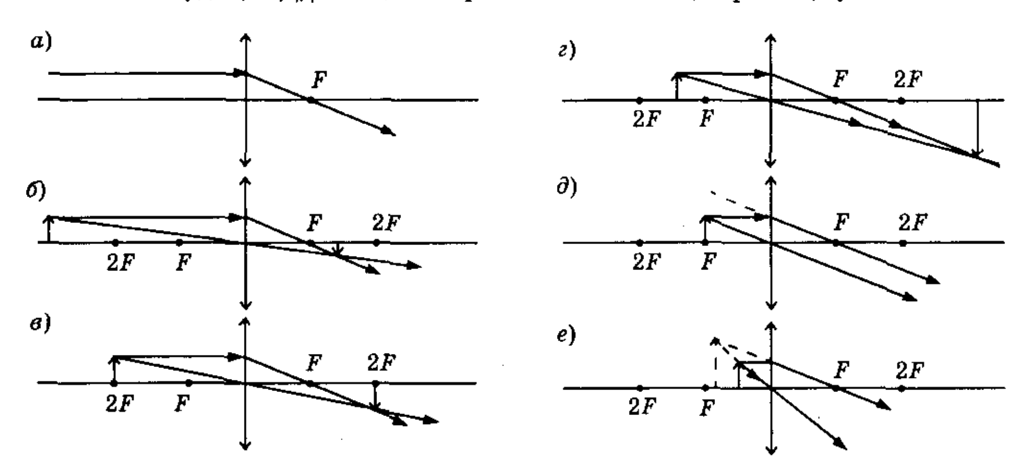


Рис. 105

15.147. Изображение мнимое, прямое, уменьшенное. См. рис. 106. **15.148**. При любом d изображение прямое, мнимое, уменьшенное. Чем ближе к линзе, тем уменьшение меньше. См. рис. 107. **15.149**. а) Изображение действи-

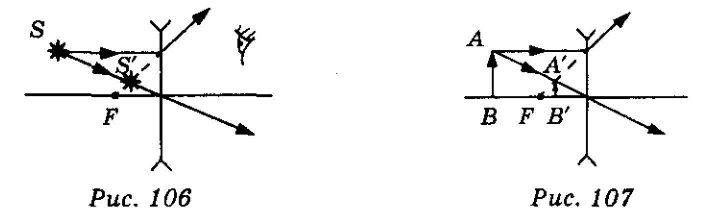


Рис. 106 Рис. 107

Ответы

Рис. 108

Рис. 109

тельное; б) изображение мнимое; в) изображение мнимое; г) изображение мнимое. См. рис. 108. **15.150.** а) $SO = \dfrac{F \cdot S'O}{S'O - F} = 30$ см, изображение действительное; б) $SO = \dfrac{F \cdot S'O}{S'O + F} \approx 13{,}3$ см, изображение мнимое; в) $SO = \dfrac{F \cdot S'O}{F - S'O} = 40$ см, изображение мнимое. См. рис. 109. **15.151.** См. рис. 110. а) линза собирающая, изображение мнимое, $F = \dfrac{OS' \cdot OS}{OS' - OS} = 7{,}5$ см; б) линза

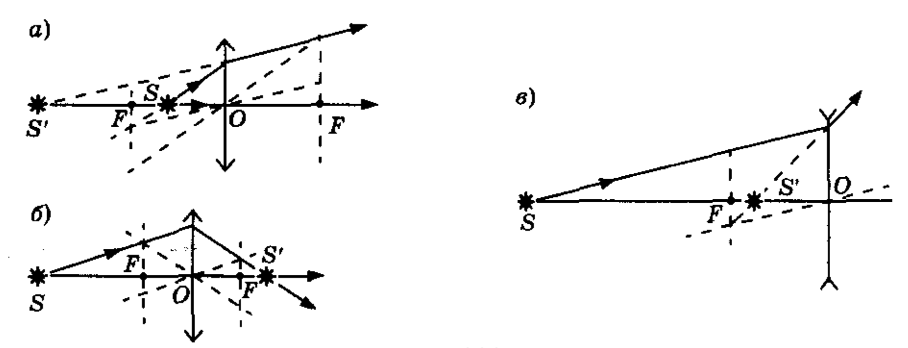
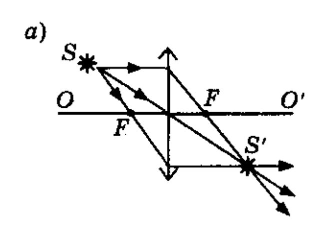
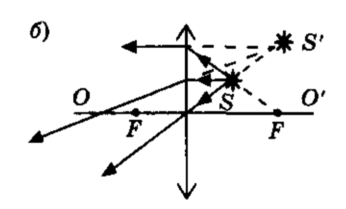


Рис. 110





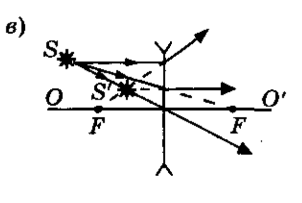


Рис. 111

собирающая, изображение действительное, $F = \dfrac{OS' \cdot OS}{OS' + OS} \approx 6{,}7$ см;

в) линза рассеивающая, изображение мнимое, $F = \dfrac{OS' \cdot OS}{OS' - OS} = -6{,}7$ см.

15.152. См. рис. 111. а) Изображение действительное, линза собирающая; б) изображение мнимое, линза собирающая; в) изображение мнимое, линза рассеивающая. **15.154.** См. рис. 112. **15.155.** См. рис. 113. **15.156.** См. рис. 114. **15.161.** а) $f = -20$ см, изображение мнимое; б) $f = -6{,}7$ см, изображение

Рис. 112 *Рис. 113* *Рис. 114*

Ответы

мнимое. **15.162.** $d = \frac{F}{2}$, где F — фокусное расстояние линзы. **15.163.** $f = \pm\frac{F(F \pm l)}{l}$; а) точка перед фокусом: изображение действительное, $f = 100$ см; б) точка между фокусом и линзой: изображение мнимое, $f = -60$ см. **15.164.** $D = 0{,}071$ дптр. **15.165.** $f = \frac{d}{Dd - 1} = 36$ см. **15.166.** $d = \frac{f}{1 + Df} = 1{,}2$ м. **15.167.** $F = \frac{3}{4}d = 15$ см. **15.168.** $F = \frac{5}{3}f = 33{,}3$ см. **15.169.** $f_2 = \frac{f_1 d_1 d_2}{d_1 f_1 + d_1 d_2 - d_2 f_1} = 12$ см, изображение мнимое. **15.170.** $(d + f)_{\min} = 4F$.

15.171. $F = \frac{L^2 - l^2}{4L} = 0{,}67$ м. **15.172.** Отодвинуть от линзы на $\Delta d = \frac{\Delta f \cdot F^2}{(f - F)(f - \Delta f - F)} = 2{,}1$ см. **15.173.** $d_{1,2} = \frac{l}{2}\left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{2F}{l}}\right)$; $d_1 = 18$ см; $d_2 = 6$ см. **15.174.** $F = \frac{2AB \cdot BC(AB + BC)}{(BC - AB)^2} = 120$ см. **15.175.** На расстоянии $d = \frac{fF}{F - f} = 10$ см от места, где стояла линза (положение мнимого источника). **15.176.** На расстоянии $d = \frac{fF}{F + f} = 5{,}4$ см от места, где стояла линза (положение мнимого источника). **15.177.** На той же побочной оси на расстоянии $f = 10$ см от плоскости линзы. **15.178.** $F = -24$ см, линза рассеивающая. **15.179.** $F = \pm\frac{rL}{2R} = \pm 17{,}5$ см. **15.180.** Придвинуть к линзе на $a = \frac{F^2(n - 1)}{b + F(n - 1)} = 4$ см. **15.181.** $r = \frac{RF \cdot \Delta d}{(d - F)(d \pm \Delta d)}$. **15.182.** а) 2; б) $\frac{2}{3}$; в) $\frac{16}{3}$; г) $\frac{2}{15}$. **15.183*.** $F = \frac{R}{n - 1} = 40$ см; не изменится. **15.184*.** $\frac{1}{F} = (n - 1) \times \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$; $F = 24$ см. **15.185*.** $\frac{1}{F} = \left(\frac{1}{n_в} - 1\right)\frac{2}{R}$; $F = -1$ м. **15.186*.** $F = \frac{F_0(n_{ст} - 1)n}{n_{ст} - n}$; а) $F = 39$ см; б) $F = -80$ см. **15.188.** $d = D\frac{F}{s} = 11$ мм.

15.189. $h = H\frac{d - F}{F} = 100$ мм. **15.190.** $F = \frac{d}{\left(\frac{h}{H} + 1\right)} = 12$ см. **15.191.** $x = \frac{hF}{d} = 1{,}25$ см. **15.192.** $\Gamma = \frac{n}{n - 1}$, изображение увеличенное, мнимое, прямое. **15.193.** Линза собирающая; а) изображение действительное, $\Gamma = n - 1 = 4$;

б) изображение мнимое, $\Gamma = n + 1 = 6$. **15.194.** Линза собирающая, $d = \frac{\Delta L}{\Gamma - 1} = 0{,}2$ м, $f = \frac{\Gamma \cdot \Delta L}{\Gamma - 1} = 0{,}7$ м; $F = \frac{\Gamma \Delta h}{(\Gamma - 1)(\Gamma \pm 1)}$; если изображение действительное, $F = 15{,}5$ см; если изображение мнимое, $F = 28$ см. **15.195.** В 2 раза. **15.196.** а) Изображение действительное, $F = \frac{\Gamma}{\Gamma + 1} d = 15$ см; б) изображение мнимое, $F = \frac{\Gamma}{\Gamma - 1} d = 30$ см. **15.197.** а) Изображение действительное, линза собирающая, $D = \frac{n + 1}{nf} = 15$ дптр; б) изображение мнимое, линза рассеивающая, $D = \frac{1 - n}{nf} = -5$ дптр. **15.198.** Линза собирающая; а) изображение действительное, $d = \frac{\Gamma + 1}{\Gamma D} = 0{,}5$ м; б) изображение мнимое, $d = \frac{\Gamma - 1}{\Gamma D} = 0{,}3$ м. **15.199.** а) Линза собирающая, изображение действительное, перевернутое, $d = \frac{n + 1}{D} = 3$ м; б) линза рассеивающая, изображение мнимое, прямое, $d = \frac{n - 1}{D} = 2$ м. **15.200.** $F = \frac{d_1 + d_2}{2} = 40$ см; $\Gamma = \frac{d_1 + d_2}{d_1 - d_2} = 2$. **15.201.** $d_{1,2} = \frac{L}{2}\left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4F}{L}}\right) = f_{2,1}$; $\Gamma_{1,2} = \frac{L}{4F}\left(1 \mp \sqrt{1 - \frac{4F}{L}}\right) = \frac{1}{\Gamma_{2,1}}$; $d_1 = 60$ см, $\Gamma_1 = \frac{1}{2}$; $d_2 = 30$ см, $\Gamma_2 = 2$. **15.202.** $h = \sqrt{h_1 h_2}$. **15.203.** $F = L \frac{\sqrt{k}}{(\sqrt{k} + 1)^2} = 15$ см. **15.204.** $l = L \times \frac{n\Gamma - 1}{(\Gamma + 1)(n + 1)} = 30$ см. **15.205.** Изображение станет мнимым, Г не изменится. **15.206.** $F = \frac{lhH}{(H - h)^2} = 60$ см; а) линза рассеивающая; б) линза собирающая. **15.207.** а), б), в), г) Линза собирающая; д) линза рассеивающая; а), б), в) изображение действительное; а) $d = f = 2F = 80$ см;

Рис. 115

б) $d = F\frac{\Gamma + 1}{\Gamma} = 30$ см, $f = F(\Gamma + 1) = 60$ см; в) $d = F(n + 1) = 75$ см, $f = F\frac{n + 1}{n} = 50$ см; г) изображение мнимое, $d = F\frac{\Gamma - 1}{\Gamma} = 15$ см, $f = F(\Gamma - 1) = 37{,}5$ см; д) изображение мнимое, $d = F(n - 1) = 30$ см, $f = F\frac{n - 1}{n} = 10$ см. При построениях h откладывается в произвольном масштабе. См. рис. 115. **15.208.** $\Gamma = \frac{d}{d - 2\Delta d} = 5$; $F = \frac{d}{2} = 0{,}25$ м. **15.209.** $\frac{\Gamma_2}{\Gamma_1} = \frac{d - F}{kd - F} = \frac{1}{3}$. **15.210.** Увеличится в $k + \frac{F(1 - k)}{f} = 1{,}5$ раза. **15.211.** $F = \frac{\Gamma \cdot \Delta d \cdot \Delta f}{\Delta f - \Gamma^2 \Delta d} = 12$ см. **15.212.** $\Delta d = (d - F)\frac{n - 1}{n} = 20$ см. **15.213.** $F = \frac{\Delta d \cdot \Gamma}{n - 1} = 20$ см; от линзы. **15.214.** $F = \frac{l^2 - a^2}{2l} = 21$ см; $\Gamma_1 = \frac{l + a}{l - a} = \frac{7}{3}$, $\Gamma_2 = \frac{l - a}{l + a} = \frac{3}{7}$. **15.215.** Длина отрезка изображения $A'B'$ и высоты H меньше длины самого отрезка AB и высот предметов h; $n_A = \frac{n}{n_B} = 3$. См. рис. 116. **15.216.** Трапеция, $\frac{A'B'}{C'D'} = \frac{1}{3}$. **15.217.** $\frac{S'}{S} = \frac{F^2}{F^2 - a^2} = \frac{25}{16}$. **15.218.** $\frac{S}{S'} = \frac{9}{2}$. **15.219.** $\operatorname{tg}\alpha = \frac{h}{F} = \frac{1}{2}$; $\frac{A'B'}{AB} = \sqrt{5}$. **15.220.** $\frac{A'B'}{AB} = \frac{1}{\alpha - 1}$, не изменится. См. рис. 117. **15.221.** $T = \frac{2\pi}{R_З}\left[\frac{\left(\frac{2R_Л f}{D}\right)^3}{g}\right]^{\frac{1}{2}} = 27{,}3$ суток. **15.222.** $u = \frac{vF}{d - F} = 0{,}5$ м/с. **15.223.** $D = \frac{\left(\frac{u}{v} + 1\right)}{f} = 4$ дптр. **15.224.** $u = \frac{vF}{d - F} = 6$ см/с, направ-

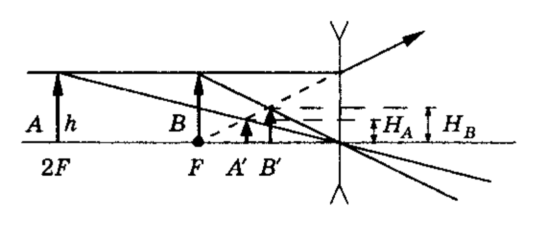


Рис. 116

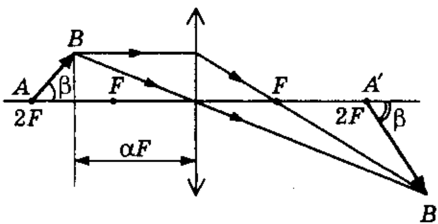


Рис. 117

ление вращения то же. **15.225.** $u = v\dfrac{d}{d-F}$; $u_1 = \dfrac{3}{2}v$; $u_2 = 2v$; $u_3 = 3v$. **15.226.** $d = \dfrac{LA\omega}{u_m} = 25$ см; $D = \dfrac{u_m^2}{LA\omega(u_m - A\omega)} \approx 5{,}3$ дптр. **15.227.** $u = \dfrac{d}{d-F} \times \sqrt{2gd} = 11{,}1$ м/с; $a = 2g\dfrac{d}{d-F} = 98$ м/с^2. **15.228.** $\left|\dfrac{u_{ср}}{v}\right| = \dfrac{F^2}{(d_1 - F)(d_2 - F)}$; движение к линзе; а) 80; б) 1,01; в) 0,23. **15.229.** $u = v\cdot\Gamma^2$; $u_1 = 0{,}05$ м/с; $u_2 = 0{,}2$ м/с; $u_3 = 0{,}8$ м/с; изображение удаляется от линзы. **15.230.** $f = F\left(1 + \sqrt{n+1}\right) = 4F$; $d = F\left(1 + \dfrac{1}{\sqrt{n+1}}\right) = \dfrac{4}{3}F$. **15.231.** $u = v\dfrac{d(d-2F)}{(d-F)^2}$; $u_1 = -3v$; изображение приближается к предмету; $u_2 = 0$; $u_3 = \dfrac{5}{9}v$; изображение удаляется от предмета. **15.232.** $v = -u\left(\dfrac{F}{f-F}\right)^2$; $v_1 = -4u$, $v_2 = -u$, $v_3 = -\dfrac{4}{9}u$; $h = \dfrac{fF}{f-F}\operatorname{tg}\alpha$; $h_1 = \dfrac{\pi F}{10}$, $h_2 = \dfrac{\pi F}{15}$, $h_3 = \dfrac{\pi F}{18}$. **15.233*.** $u = v\dfrac{F}{(d-F)^2} \times \sqrt{h^2 + F^2}$. **15.234*.** $t = \dfrac{\left((l_1 + l_2) - 2F - \sqrt{(l_1 - l_2)^2 + 2F^2}\right)}{2v} = 3{,}5$ с. **15.235.** $\omega = \left(\dfrac{F^2 g^2}{l^2F^2 - R^2(d-F)^2}\right)^{\frac{1}{4}}$. **15.236.** $\mu = \dfrac{v^2}{2gs}\cdot\dfrac{F}{d-F}$. **15.237.** $\Delta x = 2A\dfrac{F^2}{F^2 - A^2}$, где $A = \dfrac{f_0}{m\omega^2}$; $u_1 = \dfrac{2\omega A}{\pi}\cdot\dfrac{F}{F-A}$ при движении изображения от линзы; $u_2 = \dfrac{2\omega A}{\pi}\cdot\dfrac{F}{F+A}$ при движении изображения к линзе. **15.238.** $d = \dfrac{2F}{\sqrt{n^2-1}} = 9{,}1$ см. **15.239.** $h = \dfrac{Fln}{l-F}$. **15.240.** $r = \dfrac{h}{\sqrt{n^2-1}}\cdot\dfrac{l}{4F} \times \left(1 - \sqrt{1 - 4\dfrac{F}{l}}\right)^2 \approx 3$ см. **15.241.** $l = 2F - \dfrac{h}{n} = 28{,}7$ см. **15.243.** а) $l = F_1 - F_2 = 20$ см; $\dfrac{D_{вх}}{D_{вых}} = \dfrac{F_1}{F_2} = 3$; б) l не изменится; диаметр пучка увеличится: $\dfrac{D_{вых}}{D_{вх}} = 3$. **15.244.** $F_1 = \dfrac{l}{1+\sqrt{n}} = 15$ см; $F_2 = \dfrac{l\sqrt{n}}{1+\sqrt{n}} = 30$ см; нельзя.

Ответы

15.245. $D_N = \frac{D}{2^N}$. **15.246.** а) $f_2 = \frac{f_1F_2}{f_1 + F_2} = 12$ см; б) $f_2 = \frac{f_1F_2}{F_2 - f_1} = 120$ см

15.247. $F_1 = f$, $|F_2| = \frac{F \cdot f}{F + f}$, $F_3 = F$. **15.248.** Изображение мнимое $d = \frac{F_2 f}{(F_2D_1 - 1)f + F_2} = 0{,}4$ м. **15.249.** $\Gamma_2 = \frac{\Gamma_2}{1 \pm \Gamma_1 D_2 d}$; а) $\Gamma_2 = 1{,}25$; б) $\Gamma_2 = 5$.

15.250. $\Gamma = \frac{\Gamma_1\Gamma_2}{\Gamma_1\Gamma_2 + \Gamma_1 + \Gamma_2} = \frac{6}{11}$. **15.251.** а) Изображение мнимое, перед задней линзой на расстоянии $f = \frac{1 + lD_1}{D_1 + D_2 - lD_1D_2} = 12{,}5$ см; б) изображение действительное, за задней линзой на расстоянии $f = \frac{1 - lD_2}{D_1 + D_2 - lD_1D_2} =$ $= 10$ см. **15.252.** а) $d_1 = \frac{(l - F_2)F_1}{l - F_1 - F_2} = 30$ см; б) $d_2 = \frac{(l + F_2)F_1}{l - F_1 + F_2} = 13$ см; нельзя. **15.253.** $D_2 = \frac{1}{\left(l - \frac{d_1}{D_1d_1 - 1}\right)} = 4$ дптр. **15.254.** а) $l = \frac{d_1F_1}{d_1 - F_1} + F_2 =$ $= 100$ см; б) $l = \frac{d_1F_1}{d_1 - F_1} - F_2 = 20$ см; в) $l = F_2 - \frac{d_1F_1}{d_1 + F_2} = 28$ см.

15.255. а) Придвинуть к линзе на $\Delta f = \frac{F_1^2}{F_2 + F_1 - l} = 10$ см; б) отодвинуть от линзы на $\Delta f = \frac{F_1^2}{F_2 - F_1 + l} = 20$ см. **15.256.** Изображение действительное, прямое, равное, на расстоянии $f_2 = 0{,}4$ см за второй линзой. **15.257.** За второй линзой на расстоянии $f_2 = \frac{F^2}{d_1}$ во всех трех случаях. **15.258.** $d_1 > \frac{F}{3} = 10$ см.

15.259. $0 < d_1 < \frac{F}{2}$. **15.260.** $d_1 = \frac{F}{4}(1 + \sqrt{17}) = 1{,}28F$. **15.261.** $H = h\frac{F_2}{F_1} =$ $= 1{,}5$ см. **15.262.** $F_3 = \frac{F}{2}$. **15.264.** $\Gamma = 3$. **15.265.** $f = 2F - d$; $f_1 = F$; $f_2 = 0$.

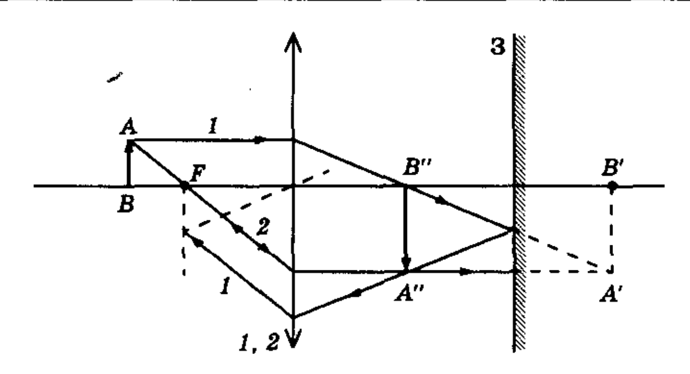


Рис. 118

15.266. Лучи *1* и *2* параллельны, изображение предмета система не даст. См. рис. 118. **15.267.** $f = F$; $\Gamma = 1$. **15.268.** $x = \frac{F}{2}\left(1 + \frac{d}{d - F}\right) = 37{,}5$ см. **15.269.** $F = x$. **15.270.** $\beta = \operatorname{arctg}\left(\frac{d - F}{F}\operatorname{ctg}\alpha\right) = 41°$. См. рис. 119. **15.271.** $\beta = \operatorname{arctg}\left(\frac{F - d}{F}\operatorname{tg}2\alpha\right) = 11°$. **15.272.** $v = 2\omega F = 0{,}1$ м/с. **15.273.** Освещенный круг диаметром $D = 2$ см и точечное изображение источника на расстоянии 10 см от главной оптической оси. См. рис. 120. **15.274.** При $d < F$ решения нет; при $F < d < R + F$ одно решение: $x = \frac{Fd}{d - F}$; при $d > R + F$ два решения: $x_1 = \frac{dF}{d - F}$, $x_2 = F\frac{d - F}{d - F - R}$. **15.275.** $\Delta x = \frac{h(n - 1)}{n} = 1$ см. **15.276.** $\eta = \left(1 + \frac{hD}{dF}\left(1 - \frac{2F}{\sqrt{D^2(n^2 - 1) + 4F^2n^2}}\right)\right)^2$. **15.277.** В фокальной плоскости на расстоянии $x = (n_2 - n_1)\alpha F$ от главной оптической оси. **15.278.** $K = d_0D \div (1 + d_0D) = 4 \div 5$. **15.279.** $F = 2{,}5$ см. **15.280.** $a = \frac{F(d_0 - b)}{F + d_0 - b} + b =$

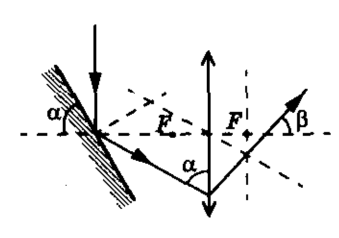


Рис. 119

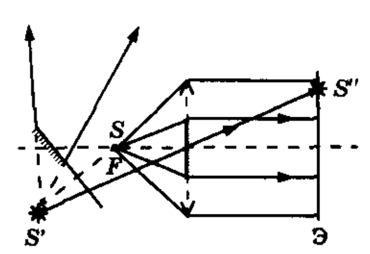


Рис. 120

Ответы

$= 6{,}82$ см; $K = \frac{d_0}{F} + \frac{d_0}{d_0 - b} = 14$. **15.281.** $\Gamma = 1 + \frac{l}{2F}\left(1 + \sqrt{1 + 4\frac{F}{l}}\right) = 5{,}83$.

15.282. $\Gamma_а = \frac{2\Gamma_1}{\Gamma_1 + 1} = 1{,}6$; $\Gamma_б = 2\Gamma_1 = 8$. **15.283.** $D_{min} = \frac{1}{f} = 54{,}6$ дптр; $D_{max} = \frac{1}{d_0} + \frac{1}{f} = 58{,}6$ дптр. **15.285.** Дальнозоркость; вода приближает предметы. **15.286.** $D = 3$ дптр. **15.287.** а) $D = -5$ дптр; б) $D = -2{,}25$ дптр. **15.288.** $d_{min} = \frac{d_1 d_2}{d_2 - d_1} = 20$ см. **15.289.** $d_1 = \frac{d_0}{Dd_0 + 1} = 11$ см; $d_2 = \frac{1}{D} = 20$ см. **15.290.** $D_1 = \frac{1}{d_0} + D - \frac{1}{d_1} = 4$ дптр. **15.291.** $l = \frac{d_0}{2(1 - d_0 D)} = 6{,}25$ см.

15.292. $D = -\frac{n}{l} = -4{,}3$ дптр. **15.294.** $F = \frac{Lc}{c + a} = 9{,}95$ см; $d = \frac{L \cdot c}{a} = 10$ см.

15.295. $d = \frac{F \cdot D}{\delta} = 12{,}5$ м. **15.296.** $d_{min} = \frac{l(l + x)}{x} = 1{,}3$ м. **15.297.** $f_{min} = 10$ см, $f_{max} = 11{,}1$ см, $\Delta f = \frac{F^2}{d - F} = 11$ мм. **15.298.** 1 : 2000, $S_1 = 0{,}13$ км^2; 1 : 400, $S_1 = 0{,}52$ км^2. **15.299.** $F = \frac{h_2 d_2 - h_1 d_1}{h_2 - h_1} = 0{,}43$ м. **15.300.** $\tau = \frac{\Delta x(d - F)}{F\sqrt{2gh}} = 5 \cdot 10^{-3}$ с; $x = \frac{\Delta x H}{F} = 10$ м; $t = \frac{\Delta x H}{F R_3} \frac{\sqrt{R_3 + H}}{g} = 10^{-3}$ с. **15.302.** $d_0 = \frac{2 d_1 d_2}{d_1 + d_2} = 10$ м. **15.303.** $\Gamma = \frac{L d_0}{F_{об} F_{ок}}$, при $F_{об}$ и $F_{ок}$ много меньше L, d_0, т. е. при очень больших увеличениях. **15.304.** $\Gamma = 188$; $d_0 = 26$ см.

15.305. $F_{об} = 6$ мм. **15.306.** $F_2 = \frac{L d_0}{F_1 \Gamma} = 0{,}5$ см. **15.307.** $\Delta x = R_{ЛЗ}\varphi_{min} \cdot \frac{F_{ок}}{F_{об}} = 475$ м. **15.308.** Увеличится в $\frac{d}{(d - F_{об})}$ раз. **15.309.** а) К объективу на $\Delta d = \frac{F_{об}^2}{d - F_{об}} = 1$ мм; б) от объектива на $\Delta d = 9$ мм; K практически не меняется. **15.310.** $L \approx 14$ см, $K = \frac{F_{об}}{|F_{ок}|} \cdot \frac{d}{d - F_{об}} \cdot \frac{d_0 - |F_{ок}|}{d_0} = 3{,}2$.

16. Фотометрия

16.1. $R = 25$ см. **16.2.** $\Phi = 16$ лм. **16.3.** $E = 755$ лк. **16.4.** $\Phi = \dfrac{JS}{r^2} = 0{,}05$ лм.

16.5. $J = \dfrac{\alpha p}{4\pi} = 124$ кд. **16.6.** $h = \sqrt{\dfrac{J}{E}} = 1$ м. **16.7.** $\Delta r = r\left(1 - \dfrac{1}{\sqrt{n}}\right) \approx 0{,}3$ м.

16.8. $x = l(\sqrt{2} - 1) \approx 0{,}4$ м. **16.9.** $E = \dfrac{Jh}{(l^2 + h^2)^{3/2}} = 2{,}4$ лк. **16.10.** $t_2 = \dfrac{J_1 r_2^2 t_1}{J_2 r_1^2} =$

$= 6{,}67$ с. **16.11.** $E = \dfrac{2\Phi h}{\pi(d^2 + 4h^2)^{3/2}} = 34{,}2$ лк. **16.12.** $S = \pi\left(\left(\dfrac{Jh}{E}\right)^{2/3} - h^2\right) =$

$= 1{,}055 \cdot 10^3$ м^2. **16.13.** $\cos\alpha = \dfrac{1}{n}$; $\alpha \approx 1{,}05$ рад $= 60°$. **16.14.** $l = h\sqrt{\sqrt[3]{n^2} - 1} \approx$

$\approx 3{,}83$ м. **16.15.** $r = \sqrt{\dfrac{J\cos\alpha}{E}} = 1$ м; $h = r \cdot \cos\alpha \approx 0{,}71$ м. **16.16.** $E =$

$= J\left(\dfrac{h_1}{(h_1^2 + l^2)^{3/2}} + \dfrac{h_2}{(h_2^2 + l^2)^{3/2}}\right) = 21{,}7$ лк. **16.17.** $J_1 = 80$ кд; $J_2 = 80$ кд.

16.18. $E = \dfrac{\Phi}{4\pi}\left[\dfrac{1}{(1{,}24r)^2} + \dfrac{0{,}12}{(1{,}73r)^2}\right] \approx 0{,}055\dfrac{\Phi}{r^2} = 55$ лк. **16.19.** $E = \dfrac{10J}{9r^2} \approx 2{,}2$ лк.

16.20. $\Phi = 3{,}75$ лм. **16.21*.** а) $E_1 = E + \dfrac{E}{9} = 2{,}5$ лк; б) $E_2 = 2E = 4{,}5$ лк;

в) $E_3 = E + \dfrac{E}{25} = 2{,}34$ лк. **16.22.** $E = 41$ лк. **16.23.** $E = \dfrac{J[h^2 + (h + 2x)^2]}{h^2(h + 2x)^2}$.

16.24. $E = 61$ лк; уменьшится на 11 лк. **16.25.** $\eta = \dfrac{k}{2\sqrt{2}} = 0{,}336$; $\eta\% = 33{,}6\%$.

16.26. $E = \dfrac{J}{R^2(1 + 0{,}01k)^{3/2}}$; а) $E_1 = \dfrac{J}{R^2}$; б) $E_2 = \dfrac{J}{1{,}4R^2}$; в) $E_3 = \dfrac{J}{2{,}8R^2}$.

16.27. $J = 1$ кд. **16.29.** $R = \dfrac{4J}{D^2} = 1{,}6 \cdot 10^5$ лм/м^2; $B = \dfrac{4J}{\pi D^2} = 5{,}1 \cdot 10^4$ кд/м^2.

16.30. а) $B = 1{,}2 \cdot 10^7$ кд/м^2; б) $B = 3 \cdot 10^4$ кд/м^2. **16.31.** $E = \dfrac{\pi B R^2}{2r^2} =$

$= 8 \cdot 10^4$ лк. **16.32.** $B = \dfrac{kE}{\pi} = 8{,}59$ нт.

17. Элементы волновой оптики

17.1. $9,46 \cdot 10^{12}$ км. **17.2.** $t = 8$ мин. **17.3.** Во льду. **17.4.** $n = \frac{c}{v} = 2,4$. **17.5.** $v_в = 2,26 \cdot 10^8$ м/с; $v_с = 2 \cdot 10^8$ м/с. **17.6.** $v_1 = \frac{c}{n_1} = 2,25 \cdot 10^8$ м/с; $v_2 = \frac{c}{n_2} = 2,23 \cdot 10^8$ м/с. **17.7.** $\Delta v = 1,76 \cdot 10^8$ м/с. **17.8.** $\eta = \frac{n-1}{n} = 0,33$; $\eta = 33\%$. **17.9.** $n = \frac{1}{1-k} = 1,25$. **17.10.** $n = \frac{n_в c}{c - \Delta v n_в} = 2,4$. **17.11.** $\frac{h_1}{h_2} = \frac{n_2}{n_1} = 1,11$. **17.12.** Меньше в стекле в 1,82 раза; $\frac{t_2}{t_1} = \frac{n_2}{n_1} = 1,82$. **17.13.** $\frac{t_ф}{t_м} = 2\frac{n_ф}{n_м} = 2,4$. **17.14.** $\Delta t = \frac{h}{c}(n-1) = 3,6 \cdot 10^{-12}$ с. **17.15.** $\beta = \arcsin\left(\frac{c \cdot \sin\alpha}{v_1 \cdot n_2}\right) = 59°$. **17.16.** $n_2 = \frac{c}{v_1} \cdot \operatorname{tg}\alpha = 1,39$. **17.17.** $n = \frac{1}{\sin\alpha} = 1,15$; $v = c\sin\alpha = 2,6 \cdot 10^8$ м/с. **17.18.** $t_{min} = \frac{hn}{c} = 1,25 \cdot 10^{-9}$ с; $t_{max} = \frac{hn^2}{c\sqrt{n^2-1}} \approx 2 \cdot 10^{-9}$ с. **17.19.** $\sin\alpha_{пр} = \sin\beta/\sin\alpha$; $\alpha_{пр} = 45°$; $v = \frac{c}{\sqrt{2}} = 2,12 \cdot 10^8$ м/с. **17.20.** $\nu_к = 390$ ТГц, $\nu_ф = 750$ ТГц. **17.21.** $\lambda = \frac{c}{\nu}$; $\lambda_1 = 0,75$ мкм; $\lambda_2 = 0,4$ мкм. **17.22.** Для λ_1 на $\Delta v = 2,23 \cdot 10^6$ м/с. **17.23.** $\lambda_2 = 0,53$ мкм. Красный, т. к. воспринимаемый глазом цвет зависит от частоты света. **17.24.** $n = \frac{c}{\lambda\nu} = 1,34$. **17.25.** $\Delta\lambda = \lambda_0\frac{n-1}{n}$; $\Delta\lambda \approx 1800$ Å. **17.26.** Увеличится на $\Delta\lambda = \frac{1}{\nu}(c - v) = 0,103$ мкм; $n = \frac{c}{v} = 1,33$. **17.27.** Частота в стекле меньше на $\Delta\nu = \frac{\nu(n-1)}{n} = 2 \cdot 10^{14}$ Гц. **17.28.** Меньше частоты света в скипидаре на $\Delta\nu = \frac{c}{\lambda} \cdot \frac{(n_2 - n_1)}{n_1 \cdot n_2} = 4,3 \cdot 10^{13}$ Гц. **17.29.** $N = \frac{l \cdot \nu}{c} = 1,33 \cdot 10^6$. **17.30.** $N = \frac{l\nu}{c}n$; $N_1 = 2000$; $N_2 = 3000$; $N_3 = 2660$. **17.31.** $N = \frac{nh}{\lambda_0} = 600$; $t = \frac{nh}{c} = 10^{-12}$ с. **17.32.** $l_0 = nl = 4$ мм. **17.33.** $v = \frac{c\Delta\lambda}{2\lambda} = 2$ км/с. **17.41.** $\Delta\varphi_1 = 6\pi$; $\Delta\varphi_2 = 2\pi n$. **17.42.** $\Delta d = h(n-1) = 5 \cdot 10^{-4}$ м.

17.43. $\Delta\varphi = \dfrac{2\pi\Delta d}{\lambda} = 0{,}6\pi$. **17.44.** $\Delta d = 1{,}7$ см. **17.45.** а), б) Ослабление; в) усиление. **17.46.** Полосы будут уже и ближе к центру интерференционной картины. **17.47.** Будут наблюдаться интерференционные максимумы, т. к. $k_1 = \dfrac{d}{\lambda_1} = 13$; $k_2 = \dfrac{d}{\lambda_2} = 20$. **17.48.** а) min, т. к. $k_1 = \dfrac{d}{\lambda_1} = 1{,}5$; б) max, $k_2 = \dfrac{d}{\lambda_2} = 1000$. **17.49.** а) Максимум, т. к. $k_1 = \dfrac{d_1}{\lambda} = 5$; б) минимум, т. к. $k_1 = \dfrac{d_2}{\lambda} = 5{,}5$. **17.50.** а), б) Расстояние между максимумами освещенности увеличивается; в) уменьшается. **17.51.** Ширина полос уменьшится в $n = 1{,}33$ раза. **17.52.** $d = \dfrac{\lambda|OC|}{|S_1S_2|} = 2{,}4$ мм. **17.53.** $\lambda = \dfrac{d|S_1S_2|}{|OC|} = 600$ нм. **17.54.** Свет, т. к. $d = 2\lambda$. **17.55.** $\Delta h = \dfrac{\lambda l}{d} = 5{,}6 \cdot 10^{-3}$ м. **17.56.** $l = \dfrac{D+d}{D-d} \cdot a = 1{,}22$ м. **17.57.** $l < l_0 = \dfrac{(D+d)aF}{(D-d)((a-F)+da)} = 1{,}125$ м. **17.58.** а) $\Theta_{max} = 0, \dfrac{\pi}{2}, \pi$; б) $\Theta_{min} = \dfrac{\pi}{3}, \dfrac{2\pi}{3}$. **17.60.** Вторая. **17.61.** Расстояние между максимумами увеличивается. **17.62.** Для всех длин волн соблюдается условие максимума освещенности. **17.64.** $\lambda = 580$ нм. **17.65.** $\lambda = d\dfrac{l}{L} = 7 \cdot 10^{-7}$ м. **17.66.** $L = \dfrac{hd}{k\lambda} = 17$ см. **17.67.** $\varphi = \arcsin\dfrac{k\lambda}{d} = 1{,}5°$. **17.68.** $\lambda = d\dfrac{l_1}{l_2} = 0{,}4$ мкм. **17.69.** $d = \dfrac{\lambda L}{l} = 0{,}02$ мм. **17.70.** $d = \dfrac{2k\lambda L}{l} = 10$ мкм. **17.71.** $S = \dfrac{L}{d}(\lambda_2 - \lambda_1) = 11$ см. **17.72.** $\varphi = 20°$. **17.73.** $d = \dfrac{k\lambda}{\sin\varphi} = 0{,}015$ мм. **17.74.** $\lambda_2 = \lambda_1\dfrac{k_1}{k_2} \cdot \dfrac{\sin\varphi_2}{\sin\varphi_1} = 550$ нм. **17.75.** $\lambda_2 = \lambda_1\dfrac{k_1}{k_2} = 653$ нм. **17.76.** Не будут. **17.77.** $\lambda \approx d(\varphi_3 - \varphi_2) = d\lambda = 1{,}7 \cdot 10^{-7}$ м. **17.78.** $d \geqslant \lambda$; $\lambda = 0{,}02$ см. **17.79.** $k = 2$. **17.80.** $\varphi_m = 62{,}5°$. **17.81.** $k = \dfrac{\sin\varphi_m}{\sin\varphi_1} = 8$. **17.82.** $\lambda = \dfrac{\sin\Delta\varphi}{\sqrt{5 - 4\cos\Delta\varphi}} = 0{,}53$ мкм. **17.83.** $d = \dfrac{k_{max}\lambda_1}{\sin\varphi} = 5$ мкм. **17.84.** $d = \dfrac{3\lambda}{\sin\varphi} = 2{,}8$ мкм. **17.85.** $\varphi_1 = \arcsin(\sin\varphi_{кн} - \sin\varphi_к) = 5{,}7°$. **17.86*.** $k_{max} = 6$. **17.87*.** $\Delta\varphi = 4{,}85°$. **17.88.** $\Delta\lambda = \dfrac{\lambda}{2k_{max}+1} =$

$= 19{,}4$ нм; $k_{max} = \left[\frac{d}{\lambda}\right]$[1]. **17.90.** $\frac{r_ф}{r_к} = \frac{\sqrt{n_к^2 - 1}}{\sqrt{n_ф^2 - 1}} = 0{,}99$. **17.93.** $\Theta \approx 2{,}3°$. **17.95.** $h =$
$= \frac{\Delta x}{\sin\alpha\left(\frac{1}{\sqrt{n_к^2 - \sin^2\alpha}} - \frac{1}{\sqrt{n_ф^2 - \sin^2\alpha}}\right)} = 22$ мм. **17.96.** $\Delta F = \frac{R(n_ф - n_к)}{2(n_ф - 1)(n_к - 1)} =$
$= 3{,}84$ см.

18. Основы теории относительности

18.1. $n = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 7{,}1$. **18.2.** $\Delta t = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 3{,}2t = 3{,}2$ мкс. **18.3.** $t_1 =$
$= 2\frac{Sc}{v} = 80{,}8$ года; $t_2 = t_1\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 11{,}4$ года; s выражается в световых годах. **18.4.** $l = l_0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 0{,}8$ м. **18.5.** $v = c\sqrt{1 - (1+\eta)^2} = 1{,}98 \cdot 10^8$ м/с.
18.6. $\Delta t \approx \frac{1}{2}\frac{v^2\tau_0}{c^2} = 0{,}57$ с. **18.7.** $k = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 1{,}25$. **18.8.** $\beta = \frac{v}{c} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\tau_0^2 c^2}{l^2}}} =$
$= 0{,}995$. **18.10.** $v_{отн} = c$. **18.11.** $u_{отн} = 0{,}5c$. **18.12.** $k = \frac{m}{m_0}\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 1{,}15$.
18.13. $v = c\frac{\sqrt{3}}{2} = 2{,}6 \cdot 10^8$ м/с. **18.14.** $\Delta m = m_0\left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1\right) = 1{,}29m_0$.
18.15. $\eta = \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1\right) \cdot 100\% = 0{,}5\%$. **18.16.** $v = c\sqrt{1 - \left(\frac{m_{0p}}{m\alpha}\right)^2} = 0{,}97c$.

[1] Квадратные скобки указывают на то, что берется целая часть числа.

18.17. $n = 2{,}8$, увеличится. **18.18.** $\eta = n = 2$, увеличилась. **18.19.** $m = 2m_0 = 1{,}8 \cdot 10^{-31}$ кг; $\upsilon = 0{,}886c = 2{,}6 \cdot 10^8$ м/с. **18.20.** $E = mc^2 = 9 \cdot 10^{16}$ Дж. **18.21.** $E = 0{,}511$ МэВ. **18.22.** а) $E_p = 938$ МэВ; б) $E_\alpha = 3{,}37 \cdot 10^3$ МэВ. **18.23.** $\upsilon = 0{,}866$ с. **18.24.** $\Delta m = \dfrac{\Delta E}{c^2} = 11{,}1 \cdot 10^{-15}$ г. **18.25.** $\Delta E = m_0c^2 = 939$ МэВ. **18.26.** $\Delta m = \dfrac{W \cdot 4\pi R^2 t}{c^2} = 1{,}57 \cdot 10^{17}$ кг. **18.27.** $t = \dfrac{Mc}{nE}t = 7{,}1 \cdot 10^{12}$ лет. **18.28.** $\Delta m = \dfrac{\rho V c_{\text{воды}} \Delta t}{c^2} = 6{,}57 \cdot 10^7$ кг. **18.29.** $\dfrac{m}{m_0} = \dfrac{E_\text{к}}{m_0c^2} + 1$; $\dfrac{m_e}{m_{0e}} = 20{,}6$; $\dfrac{m_p}{m_{0p}} = 1{,}01$. **18.30.** $\upsilon = \dfrac{\sqrt{5}}{3}c = 2{,}24 \cdot 10^8$ м/с. **18.31.** $\upsilon = \dfrac{2\sqrt{6}}{3}c = 2{,}94 \cdot 10^8$ м/с. **18.32.** $E_\text{к} = \eta m_0c^2$; $E_e = 2{,}56 \cdot 10^4$ эВ; $E_p = 47$ МэВ. **18.33.** $E_\text{к} = m_0c^2\left(\dfrac{1}{\sqrt{1 - \dfrac{\upsilon^2}{c^2}}} - 1\right) = 0{,}342$ МэВ. **18.34.** $E = km_{0p}c^2 = 1{,}41 \cdot 10^3$ МэВ; $E_\text{к} = (k - 1)m_{0p}c^2 = 4{,}7 \cdot 10^2$ МэВ. **18.35.** $\upsilon = \dfrac{c\sqrt{n^2 - 1}}{n} = 2{,}98 \cdot 10^8$ м/с. **18.36.** $U = \dfrac{m_0c^2}{e}\left(\dfrac{1}{\sqrt{1 - \dfrac{\upsilon^2}{c^2}}} - 1\right) = 5{,}07 \cdot 10^6$ В. **18.37.** $U = \dfrac{m_0c^2}{e} = 1{,}02 \cdot 10^6$ В. **18.38.** $U = \dfrac{m_0c^2(n - 1)}{e} = 9{,}39 \cdot 10^8$ В. **18.39.** $p = \dfrac{3}{4}m_0c = 2{,}05 \cdot 10^{-22}$ кг · м/с. **18.40.** $\upsilon = \dfrac{\sqrt{3}}{2}c = 2{,}598 \cdot 10^8$ м/с. **18.41.** $\upsilon = 0{,}707c = 2{,}12 \cdot 10^8$ м/с. **18.42.** $E_\text{к} = c\left(\sqrt{m_0^2c^2 + e^2B^2r^2} - m_0c\right) = 0{,}28$ МэВ. **18.43.** $T = \dfrac{2\pi m_0}{eB}\left(\dfrac{E_\text{к}}{m_0c^2} + 1\right) = 7{,}14 \cdot 10^{-9}$ с. **18.44.** $p = 1{,}73m_0c$. **18.45.** $E_\text{к} = 0{,}414m_0c^2$.

19. Квантово-оптические явления

19.1. $m_ф = \frac{h}{c\lambda}$, $E_ф = \frac{hc}{\lambda}$; $p_ф = \frac{h}{\lambda}$. а) $m_ф = 3{,}1 \cdot 10^{-36}$ кг, $E_ф = 1{,}7$ эВ, $p_ф = 9{,}2 \cdot 10^{-28}$ кг · м/с; б) $m_ф = 8{,}8 \cdot 10^{-34}$ кг, $E_ф = 0{,}5$ кэВ, $p_ф = 2{,}6 \times 10^{-25}$ кг · м/с; в) $m_ф = 1{,}8 \cdot 10^{-29}$ кг, $E_ф = 10$ МэВ, $p_ф = 5{,}3 \cdot 10^{-21}$ кг · м/с. **19.2.** $\lambda = 3 \cdot 10^{-7}$ м. **19.3.** $E = \frac{hc}{\lambda} = 3{,}31 \cdot 10^{-19}$ Дж. **19.4.** $p = \frac{E}{c} = 4 \cdot 10^{-27}$ кг · м/с. **19.5.** $\lambda = \frac{h}{mc} = 1{,}33 \cdot 10^{-7}$ м. **19.6.** $\frac{E_1}{E_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = 4000$ раз. **19.7.** $\frac{E_2}{E_1} = \frac{\nu_2}{\nu_1} = 3$. **19.8.** $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{p_2}{p_1} = 2{,}5$. **19.9.** $p_ф = m_0c = 2{,}73 \cdot 10^{-22}$ кг · м/с. **19.10.** $U = \frac{hc}{e\lambda} = 10^6$ В. **19.11.** $v_e = \frac{h}{m_e\lambda} = 1{,}2$ км/с. **19.12.** $m = \frac{\sqrt{3kTm_H}}{c} = 2{,}1 \cdot 10^{-32}$ кг. **19.13.** $\lambda = \frac{2hc}{3kT} = 3{,}2 \cdot 10^{-6}$ м. **19.14.** $n = \frac{hc}{\lambda E} = 1{,}5$. **19.15.** $p = \frac{h}{\lambda n}$. **19.16.** $v = c\left(-1 + \sqrt{1 + \frac{4h}{\lambda mc}}\right) = 1{,}4 \cdot 10^7$ м/с. **19.17*.** $p' = -mc + \sqrt{m^2c^2 + 2mpc - p^2} \approx p\left(1 - \frac{p}{mc}\right)$. **19.18*.** $E_{эл} = \frac{\eta E_ф}{1 + \eta} = 1$ кэВ. **19.19*.** $p_ф = \frac{2m_pc(1 - \eta)}{2 - \eta} = 5 \cdot 10^{-19}$ кг · м/с. **19.20.** $n = \frac{E}{h\nu} = 10$. **19.21.** $N = \frac{E\lambda}{hc} = 15$. **19.22.** $N = \frac{tp}{h\nu} = 10{,}3 \cdot 10^{20}$. **19.23.** $N = \frac{E\lambda}{hc}$. **19.24.** $\lambda = \frac{nhc}{P} = 5{,}9 \cdot 10^{-7}$ м. **19.25.** $n = \frac{P\lambda\tau}{hc} = 5{,}03 \cdot 10^{18}$. **19.26.** $P = \frac{Nhc}{\lambda t} = 13{,}24$ Вт. **19.27.** $N = \frac{\varepsilon t\lambda}{hc} = 6{,}12 \cdot 10^{12}$. **19.28.** $E_ф = h\nu = 4{,}14 \cdot 10^{-9}$ эВ; $N = \frac{P}{h\nu^2} = 1{,}5 \cdot 10^{27}$. **19.29.** $N = \eta\frac{P\lambda}{hc} = 10^{19}$. **19.30.** $n = \frac{P\lambda}{hc} = 5$ фотонов/с. **19.32.** $U = 4{,}1$ кВ. **19.33.** $\eta = \frac{Nhc}{UI\lambda} = 8 \cdot 10^{-4}$; $\eta = 0{,}08\%$. **19.34.** $N = \frac{Pt\lambda n}{ch} = 1{,}2 \cdot 10^{10}$. **19.35.** $N = \frac{c_в m\lambda}{hc} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} \approx 1{,}2 \cdot 10^{19}$ с$^{-1}$. **19.36.** $u = \frac{Nhc}{\lambda\rho \cdot Vc_в} = 3{,}15 \cdot 10^{-9}$ К/с, где $\rho = 10^3$ кг/м^3 — плотность воды. **19.37.** $V = \frac{Wf\tau(1 - \eta)}{\eta\rho C\Delta T}$. **19.38.** $n =$

$= \frac{P\lambda}{Shc^2} = 5{,}8 \cdot 10^{13}$ 1/м^3. **19.39.** $N = \frac{PS_2t\lambda}{S_1hc} = 1{,}57 \cdot 10^{12}$. **19.40.** $N = \frac{P\lambda}{hc} = 5 \cdot 10^7$ 1/см$^2 \cdot$с. **19.41.** $N = \frac{Pt\lambda S}{4\pi r^2 ch}$. **19.42.** $n = \frac{P\lambda S\tau}{4\pi R^2 hc} = 4 \cdot 10^{13}$. **19.43.** $l = \frac{d}{2} \cdot \sqrt{\frac{P_0\lambda}{nhc}} = 8 \cdot 10^3$ м. **19.44*.** $l = \frac{d}{\alpha}\sqrt{\frac{P\lambda}{hcn}} = 5 \cdot 10^6$ м. **19.48.** $p = \frac{2E}{c} = 6{,}4 \cdot 10^{-27}$ кг $\cdot$ м/с. **19.49.** $p = 2\frac{h\nu}{c} \cdot \cos\alpha$. **19.50.** $F = \frac{N}{c} = 1{,}67 \cdot 10^{-7}$ Н. **19.51.** а) $p = \frac{2W}{cSt} = 7 \cdot 10^{-7}$ Па; б) $p = \frac{W}{cSt} = 3{,}5 \cdot 10^{-7}$ Па. **19.52.** $p = \frac{h\nu}{c} n \times \cos^2\Theta$. **19.53.** $n = \frac{J(1-k)\lambda}{ch} = 1{,}9 \cdot 10^{18}$ м$^{-2} \cdot$с$^{-1}$. **19.54.** $F = \frac{N}{c}(1 + k - \alpha) = 2 \cdot 10^{-7}$ Н. **19.55.** $p = \frac{E}{c}\sqrt{1 - k^2 + 2k\cos 2\Theta} = 2{,}5 \cdot 10^{-8}$ кг $\cdot$ м/с. **19.56.** $P \geqslant \frac{mgc}{2} = 1{,}5 \cdot 10^{11}$ Вт. **19.57.** $\alpha = 2\arcsin\frac{E}{2mc\sqrt{gl}} = 34{,}7'$. **19.58.** $p = \frac{N}{4\pi R^2 c}(1 + k) = 1{,}2 \cdot 10^{-5}$ Па. **19.60.** $A = \frac{hc}{\lambda} = 2{,}34$ эВ. **19.61.** $\nu = \frac{A}{h} = 4{,}98 \cdot 10^{14}$ Гц. **19.62.** $\lambda = \frac{hc}{A} = 2{,}9 \cdot 10^{-7}$ м. **19.63.** $E = \frac{hc}{\lambda} = 4{,}5$ эВ. **19.64.** $E = \frac{hc}{\lambda} = 3{,}97 \cdot 10^{-19} > A$, будет. **19.65.** $m = \frac{h}{c\lambda} = 10^{-35}$ кг. **19.66.** $A = h\nu = 2{,}8 \cdot 10^{-19}$ Дж $= 1{,}78$ эВ; $E_к = \frac{hc}{\lambda} - A = 7{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж $= 4{,}75$ эВ. **19.67.** $A = \frac{hc}{\lambda} - E = 2{,}14$ эВ; $\lambda_0 = \frac{hc}{A} = 5{,}8 \cdot 10^{-7}$ м. **19.68.** $E_к = h\nu - A = 5{,}72 \cdot 10^{-19}$ Дж. **19.69.** $p = \sqrt{2m\left(\frac{hc}{\lambda} - A\right)} = 7{,}04 \cdot 10^{-25}$ кг $\cdot$ м/с. **19.70.** $A = \frac{hc}{\lambda} - \frac{p^2}{2m} = 3{,}6$ эВ. **19.71.** $v = \sqrt{\frac{2(h\nu - A)}{m_e}} = 2{,}4 \cdot 10^6$ м/с; $\lambda = \frac{hc}{A} = 5{,}47 \cdot 10^{-7}$ м. **19.72.** $\nu = \frac{2A + m_e v^2}{2h} = 6{,}05 \cdot 10^{16}$ Гц. **19.73.** $\frac{c}{v} = \sqrt{\frac{m_e c\lambda\lambda_0}{2h(\lambda_0 - \lambda)}} \approx 642$. **19.74.** $v = \sqrt{\frac{2(hc - \lambda A)}{m_e\lambda}} \approx 2{,}76 \cdot 10^5$ м/с. **19.75.** $v = \sqrt{\frac{2hc}{m_e} \cdot \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0\lambda}} = 2{,}37 \cdot 10^5$ м/с. **19.76.** $A = \frac{hc(n^2\lambda_1 - \lambda_2)}{(n^2 - 1)\lambda_1 \cdot \lambda_2} = 3 \cdot 10^{-19}$ Дж $= 1{,}88$ эВ.

Ответы

19.77. $v = \sqrt{\frac{2}{m}\frac{hc}{\lambda_0}(k-1)} = 7{,}5 \cdot 10^5$ м/с. **19.78.** $A = \frac{mv^2}{2k-1} = 5{,}1$ эВ. **19.79.** $v_{max} = \sqrt{\frac{2(k-1)A}{m}} = 8{,}1 \cdot 10^5$ м/с. **19.80.** $\frac{\nu}{\nu_0} = \frac{k+1}{k} = 1{,}4$. **19.81.** $\lambda_0 = \frac{hc(k-n)}{A(k-1)} = 260$ нм. **19.82.** $q = \frac{4\pi\varepsilon_0}{e}Ar = 5{,}38 \cdot 10^{-12}$ Кл. **19.83.** $\varphi = \frac{1}{e}\left(\frac{hc}{\lambda} - A\right) = 1{,}23$ В.

19.84. $\lambda = \frac{hc}{A + e\varphi} = 200$ нм. **19.85.** $U_2 = \frac{hc}{e} \cdot \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 \cdot \lambda_2} + U_1 = 2{,}23$ В.

19.86. $A = h\nu - eU_з = 2{,}14$ эВ. **19.87.** $U = \frac{hc}{e\lambda} - \frac{A}{e} = 3{,}9$ В. **19.88.** $A = \frac{e(U_2 - kU_1)}{k-1} = 1{,}2$ эВ. **19.89.** $h = \frac{e\Delta U\lambda(1+\eta)}{\eta c} = 6{,}4 \cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$ с.

19.90. $h = \frac{e(U_2 - U_1)}{\nu_2 - \nu_1} = 6{,}4 \cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$ с. **19.91.** $s = \frac{1}{eB}\sqrt{2mhc \cdot \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0 \cdot \lambda}} = 6{,}3$ мм. **19.92.** $s = \frac{1}{eE}\left(\frac{hc}{\lambda} - A\right) = 0{,}4$ мм. **19.93.** $s = \frac{hc}{eE} \cdot \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0\lambda} = 2$ см.

19.94. Нет. **19.95.** $n = \frac{I_н}{e} = 1{,}87 \cdot 10^9$ с$^{-1}$; $q = I \cdot t = 3 \cdot 10^{-10}$ Кл. **19.96.** $n = \frac{P\lambda e}{Ihc} = 12$. **19.97.** $I_н = \frac{P\lambda e}{nhc} = 3{,}22 \cdot 10^{-4}$ А. **19.98.** $A = \frac{hc}{\lambda} - eU_з = 2{,}8 \cdot 10^{-19}$ Дж. **19.99.** $A = \frac{hc}{\lambda} - eU_з$; $U_з = 2$ В; $A = 4{,}9$ эВ; $I_н = 30$ мкА; $n = \frac{I_н}{e} = 19 \cdot 10^{13}$ с$^{-1}$. **19.100.** $A_1 < A_2$. **19.101.** $\Delta F = \sqrt{2m_e\left(\frac{ne}{\lambda} - A\right)} \cdot \frac{N\lambda}{hc} = 0{,}76 \cdot 10^{-6}$ Н.

20. Атомная физика

20.3. $\frac{zm_e}{A} \cdot 100\% = 0{,}02\%$. **20.4.** $r = \frac{q_\alpha q_{Au}}{2\pi\varepsilon_0 m_\alpha v^2} \approx 3{,}0 \cdot 10^{-14}$ м. **20.5*.** $r = \frac{3e^2}{8\pi\varepsilon_0 E} = 0{,}16$ нм; $\lambda = \frac{4\pi cr}{e} \cdot \sqrt{m_e r \cdot \pi\varepsilon_0} = 0{,}24$ мкм. **20.6.** $v = \frac{e}{4\pi r} \times \sqrt{\frac{1}{\pi\varepsilon_0 m_e r}} = 0{,}72 \cdot 10^{16}$ Гц; $\lambda = \frac{c}{\nu}$ 400 Å. **20.7.** а) $r_n = \frac{4\pi\varepsilon_0\hbar}{m_e e^2} \cdot n^2 =$

$= 0{,}529 \cdot n^2$ Å; б) $v_n = \dfrac{e^2}{4\pi\varepsilon_0\hbar} \cdot \dfrac{1}{n} = \dfrac{2{,}3 \cdot 10^6}{n}$ м/с; в) $\omega_n = \dfrac{m_e e^4}{16\pi^2\varepsilon_0^2\hbar^3} \cdot \dfrac{1}{n^3} =$ $= \dfrac{4{,}13 \cdot 10^{16}}{n^3}$ с$^{-1}$; г) $F_n = \dfrac{m_e^2 e^6}{64\pi^3\varepsilon_0^3\hbar^4} \cdot \dfrac{1}{n^4} = \dfrac{8{,}35 \cdot 10^{-8}}{n^4}$ Н; д) $a_n = \dfrac{m_e^2 e^6}{64\pi^3\varepsilon_0^3\hbar^4} \times$ $\times \dfrac{1}{n^4} = \dfrac{9{,}22 \cdot 10^{22}}{n^4}$ м/с^2; е) $E_{кп} = \dfrac{m_e e^4}{32\pi^2\varepsilon_0^2\hbar^2} \cdot \dfrac{1}{n^2} = \dfrac{13{,}56}{n^2}$ эВ; ж) $E_{пп} =$ $= -\dfrac{m_e e^4}{16\pi^2\varepsilon_0^2\hbar^2} \cdot \dfrac{1}{n^2} = -\dfrac{27{,}12}{n^2}$ эВ; з) $E_n = -\dfrac{m_e e^4}{32\pi^2\varepsilon_0^2\hbar^2} \cdot \dfrac{1}{n^2} = -\dfrac{13{,}56}{n^2}$ эВ.

20.8. $\nu = \dfrac{m_e e^4}{32\varepsilon_0^2 h^3} = 8 \cdot 10^{14}$ 1/с. **20.9.** $p = \dfrac{m_e e^2}{4\pi\varepsilon_0\hbar h} = 2 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с. **20.10.** $E_n =$ $= -\dfrac{m_e e^4}{64\pi^2\varepsilon_0^2\hbar^2} = -10{,}88 \cdot 10^{-19}$ Дж. **20.11.** $\Delta r = \dfrac{4\pi\varepsilon_0\hbar^2}{m_e e^2} \cdot (n_4^2 - n_1^2) =$ $= 0{,}529 \cdot (n_4^2 - n_1^2)$ Å $= 7{,}93$ Å. **20.12.** $k = \dfrac{n_3^4}{n_2^4} \approx 5$; $E_n = \dfrac{e^5 m_e^2}{64\pi^3\varepsilon_0^3 h^4} \cdot \dfrac{1}{n^4}$; $E_2 = 10{,}4 \cdot 10^{10}$ В/м; $E_3 = 1{,}2 \cdot 10^{10}$ В/м. **20.13.** $I = \dfrac{m_e e^5}{4\varepsilon_0^3 h^3} = 1{,}05 \cdot 10^{-3}$ Å.

20.14. $p_м = \dfrac{e\hbar\varepsilon_0}{2m_e} = 9{,}27 \cdot 10^{-24}$ Å · м^2. **20.15.** $E_{кп} = \dfrac{m_e e^4}{32\pi^2\varepsilon_0^2\hbar^2} \cdot \dfrac{1}{n^2} =$ $= \dfrac{13{,}56}{n^2}$ эВ; а) $E_1 = 13{,}56$ эВ; б) $E_2 = 1{,}5$ эВ. **20.16.** $r_n = \dfrac{\hbar^2 \cdot 4\pi\varepsilon_0}{m_e e^2} \cdot \dfrac{n^2}{z}$, $r_1 = 0{,}265 \cdot 10^{-10}$ м; $v_n = \dfrac{e^2}{4\pi\varepsilon_0\hbar} \cdot \dfrac{z}{n}$, $v_1 = 4{,}36 \cdot 10^6$ м/с. **20.17.** $w = \dfrac{1}{16\pi^2\varepsilon_0^2} \times$ $\times \dfrac{Zm_e e^4}{\hbar^3} \cdot \dfrac{1}{h^3} = 2{,}07 \cdot 10^{16}$ с$^{-1}$. **20.18.** $E_n = -\dfrac{m_e e^4}{32\pi^2\varepsilon_0^2\hbar^2} \cdot \left(\dfrac{z}{n}\right)^2 = -13{,}56\left(\dfrac{z}{n}\right)^2$ эВ.

20.19. $r = \dfrac{4\pi\varepsilon_0\hbar^2}{me^2} \cdot n^2 = 2{,}42 \cdot 10^{-13}$ м. **20.20.** $r_n = \sqrt{\dfrac{\hbar n}{m\omega}}$, $E_n = n\hbar\omega$, где $n = 1$, 2, 3, ...; $\omega = \sqrt{\dfrac{k}{m}}$. **20.22.** $N = 3$. **20.23.** $\lambda_{max} = \dfrac{hc}{E} = 10^{-7}$ м. **20.24.** $\Delta E = h\nu =$ $= 6{,}78$ эВ, уменьшилась. **20.25.** $\Delta E = \dfrac{hc}{\lambda} = 2{,}55$ эВ. **20.26.** $E = hcR = 13{,}56$ эВ.

Ответы

20.28. а) $E = hcRZ^2$; б) $\varphi_i = \frac{E}{e}$; в) $\varphi_1 = \frac{3hcRZ^2}{4e}$; г) $\lambda = \frac{4c}{3cRZ^2}$. Для атома водорода: $E = 13{,}56$ эВ; $\varphi_i = 13{,}56$ В; $\varphi_1 = 10{,}2$ В; $\lambda = 1{,}2 \cdot 10^{-7}$ м. Для иона He^+: $E = 54{,}24$ эВ; $\varphi_i = 54{,}24$ В; $\varphi_1 = 40{,}68$ В; $\lambda = 3 \cdot 10^{-8}$ м. **20.29.** $E = \frac{3}{4}hcR = 10{,}2$ эВ. **20.31.** $\frac{8}{9}hcR > E \geqslant \frac{3}{4}hcR$; $12{,}05$ эВ $> E \geqslant 10{,}2$ эВ. **20.32.** $E = -\frac{hcR}{4} = -3{,}4$ эВ. **20.33.** $n = \sqrt{\frac{\lambda R}{\lambda R - 1}} = 4$. **20.34.** $r = \frac{4\pi\varepsilon_0\hbar^2}{m_e e^2}\frac{\lambda R}{(\lambda R - 1)}$. **20.35.** $\frac{r_n}{r_1} = \frac{\lambda R}{\lambda R - 1} = 1{,}16$. **20.36.** $r = \frac{16\pi\varepsilon_0\hbar^2}{m_e e^2} = 2{,}12$ Å. **20.37.** $\Delta E_1 = 1{,}88$ эВ; $\Delta E_2 = 2{,}54$ эВ; $\Delta E_3 = 2{,}85$ эВ. **20.38.** $\lambda = \frac{4}{3R} = 1{,}214 \cdot 10^{-7}$ м; $\nu = \frac{c}{\nu} = \frac{3}{4}cR = 2{,}47 \cdot 10^{15}$ Гц. **20.39.** $\infty > \lambda \geqslant 0{,}91 \cdot 10^{-7}$ м. **20.40.** $\upsilon_{max} = 0{,}82 \cdot 10^{15}$ Гц; $\upsilon_{min} = 0{,}45 \cdot 10^{15}$ Гц. **20.41.** $\lambda = \frac{36}{5}R = 6{,}6 \cdot 10^{-7}$ м. **20.42.** $\nu_1 = 4{,}57 \cdot 10^{14}$ Гц; $\nu_2 = 6{,}9 \cdot 10^{14}$ Гц. **20.43.** $\lambda = \frac{144}{7R} = 1{,}87 \cdot 10^{-6}$ м. **20.44.** $k = 3$; $\lambda_1 = 10^{-7}$ м; $\lambda_2 = 1{,}2 \cdot 10^{-7}$ м; $\lambda_3 = 6{,}7 \cdot 10^{-7}$ м. **20.45.** $n = \sqrt{\frac{R\lambda_1\lambda_2}{R\lambda_1\lambda_2 - \lambda_1 - \lambda_2}} = 4$. **20.46.** $\lambda_{min} = \frac{3}{16}\lambda = 0{,}909$ мкм. **20.47.** $U = \frac{3hcR}{4e} = 10{,}2$ В. **20.48.** $\upsilon = \sqrt{\frac{2(E - E_{ион})}{m_e}} \approx 10^6$ м/с; $E_i = hcR$. **20.49.** $\upsilon = \sqrt{\frac{2hc(1 - \lambda R)}{m_e \cdot \lambda}} \approx 2{,}29 \cdot 10^6$ м/с. **20.50.** $\upsilon = \frac{3hR}{4m_p} = 3{,}27$ м/с. **20.51.** $\upsilon = \frac{h}{m\lambda} = 3{,}25$ м/с. **20.52.** $\Delta E = h\nu \times \left(\frac{h\nu}{2mc^2} - 1\right)$. **20.53.** $\upsilon = \frac{3hR}{4m_H} = 3{,}27$ м/с. **20.54.** $\nu = \frac{cR}{4} + \frac{m_e\upsilon^2}{2h} = 1{,}07 \cdot 10^{15}$ Гц. **20.55.** $\nu = cR\left(1 - \frac{1}{n^2}\right) = 2{,}5 \cdot 10^{15}$ Гц; $\upsilon = \frac{h\nu}{cm_p} = 3{,}26$ м/с. **20.56.** $E_{min} = \frac{\Delta E}{1 - \frac{m_e}{m}}$. **20.57.** $\frac{\Delta m}{m_H} = \frac{3}{4}\frac{hR}{cm_H} = 4{,}36 \cdot 10^{-8}$. **20.58.** $E_к = \frac{3}{2}hcR = 20{,}34$ эВ. **20.59.** $E = E_i - \frac{hc}{\lambda} = 3{,}03$ эВ. **20.60.** $E_{ион} = hcR = 13{,}6$ эВ;

$p = \sqrt{2m_eE_{ион}} = 2 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с. **20.61.** $\upsilon_{min} = \frac{1}{k}\sqrt{\frac{2hcR(k^2-1)}{m_e}} = 6{,}2 \cdot 10^6$ м/с, где $k = 3$, энергетический уровень возбужденного атома. **20.62.** $\lambda = \frac{32hc}{3m_p\upsilon_0^2} = 5{,}995 \cdot 10^{-7}$ м. **20.63.** $r = \frac{\lambda}{eB}\sqrt{2hcm_e\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{R}{4}\right)} = 2{,}18$ мм. **20.64.** $s = \frac{1}{eE}\left(\frac{hc}{\lambda} - E_{ион}\right) = 1{,}9$ см. **20.65.** $E_{ион} > A$, да. **20.66.** $\upsilon = \sqrt{\frac{2}{m_e}\left(\frac{3}{4}hcR - A\right)} = 8{,}4 \cdot 10^5$ м/с. **20.67.** $k = \sqrt{\frac{hcR}{hcR - pc - A}} = 4$. **20.68.** $N = \frac{P \cdot k^2}{2Rh(k^2-1)}$. **20.69.** $n = \sqrt{\frac{NSE_{ион}}{NSE_{ион} - \eta P}} = 6$. **20.70*.** $k = 2\sqrt{\frac{dcR\sin\varphi}{dcR\sin\varphi - 4k}} = 5$. **20.71*.** $n = 2\sqrt{\frac{dcR\varphi}{dcR\varphi - 4}} = 4$.

21. Ядерная физика

21.1. $A = 239$. **21.2.** Be: $Z = 4$, $N = 5$; Si: $Z = 14$; $N = 14$; Br: $Z = 35$, $N = 45$. **21.3.** Азот $^{14}_{7}N$; сурьма $^{122}_{51}Sb$; менделевий $^{256}_{101}Md$. **21.4.** а) 24, 12, 12, 12; 25, 12, 13, 12; 26, 12, 14, 12 — одинаковое число протонов (изотопы); б) 40, 18, 22, 18; 40, 20, 20, 20 — одинаковое число нуклонов (изобары); в) 13, 6, 7, 6; 14, 7, 7, 7 — одинаковое число нейтронов (изотоны). **21.5.** $^{3}_{1}H$ (тритий), $^{7}_{3}Li$, $^{15}_{7}N$. **21.6.** $N_p = ZN_A\frac{m}{M} = 2{,}9 \cdot 10^{23}$; $N_n = (A - Z) \times N_A\frac{m}{M} = 3{,}1 \cdot 10^{23}$. **21.7.** $N_e = ZN_A\frac{pV}{RT} = 10^{23}$. **21.8.** а) $n = \frac{3}{4\pi r_0^3} \approx 1{,}1 \cdot 10^{44}$ нуклон/м^3; б) $\rho = \frac{3m_n}{4\pi r_0^3} \approx 1{,}8 \cdot 10^{17}$ кг/м^3; в) $\rho_e \approx \frac{3e}{8\pi r_0^3} = 0{,}87 \cdot 10^{25}$ Кл/м^3. **21.9.** $\frac{R_U}{R_H} = 6{,}2$. **21.10.** $r = R_c\sqrt[3]{\frac{\rho_c}{\rho_я}} \approx 14$ км. **21.11.** $\frac{V_я}{V_а} = \frac{4\pi r_0^3\rho}{3m_n} = 2{,}5 \cdot 10^{-14}$, где m_n — масса нуклона. **21.12.** $^{226}_{88}Ra \to {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$; радон. **21.13.** Висмут $^{213}_{83}Bi$.

21.14. ${}^{209}_{82}\text{Pb} \to {}^{209}_{83}\text{Bi} + {}^{0}_{-1}e + \tilde{\nu}$; висмут. **21.15.** Франций ${}^{223}_{87}\text{Fr}$. **21.16.** Церий ${}^{140}_{58}\text{Ce}$. **21.17.** ${}^{97}_{36}\text{Kr} \to {}^{97}_{42}\text{Mo}$; 6 электронов. **21.18.** Радий ${}^{224}_{88}\text{Ra}$. ${}^{232}_{90}\text{Th} \to {}^{228}_{88}\text{Ra} + {}^{4}_{2}\text{He}$; ${}^{228}_{88}\text{Ra} \to {}^{228}_{89}\text{Ac} + {}^{0}_{-1}e + \tilde{\nu}$; ${}^{228}_{89}\text{Ac} \to {}^{228}_{90}\text{Th} + {}^{0}_{-1}e + \tilde{\nu}$; ${}^{228}_{90}\text{Th} \to {}^{224}_{88}\text{Ra} + {}^{4}_{2}\text{He}$ **21.19.** ${}^{212}_{83}\text{Bi} \to {}^{208}_{81}\text{Tl} + {}^{4}_{2}\text{He}$; ${}^{212}_{83}\text{Bi} \to {}^{212}_{84}\text{Po} + {}^{0}_{-1}e + \tilde{\nu}$. **21.20.** ${}^{212}_{84}\text{Po} \to {}^{208}_{82}\text{Pb} + {}^{4}_{2}\text{He}$; ${}^{208}_{81}\text{Tl} \to {}^{208}_{82}\text{Pb} + {}^{0}_{-1}e + \tilde{\nu}$. **21.21.** Уран ${}^{235}_{92}\text{U} \to$ $\to$ свинец ${}^{207}_{82}\text{Pb}$. **21.22.** ${}^{209}_{83}\text{Bi}$; α-распадов — 7, β^--распадов — 4. **21.23.** β^-, β^-, α; ${}^{A}_{Z}\text{X} \to {}^{0}_{-1}e + {}_{Z+1}^{A}\text{Y} + \tilde{\nu}$; ${}_{Z-1}^{A}\text{Y} \to {}^{0}_{-1}e + {}_{Z+2}^{A}\text{W} + \tilde{\nu}$; ${}_{Z+2}^{A}\text{W} \to {}^{4}_{2}\text{He} + {}^{A-4}_{Z}\text{X}$. **21.24.** β^+; ${}^{23}_{12}\text{Mg} \to {}^{23}_{11}\text{Na} + {}^{0}_{+1}e + \nu$. **21.25.** ${}^{196}_{79}\text{Au} \to {}^{0}_{-1}e + {}^{196}_{80}\text{Hg} + \tilde{\nu}$. ${}^{196}_{79}\text{Au} \to {}^{0}_{+1}e + {}^{196}_{78}\text{Pl} + \nu$. **21.26.** ${}^{64}_{30}\text{Zn}$, ${}^{64}_{28}\text{Ni}$. **21.27.** а) ${}^{241}_{95}\text{Am}$, ${}^{237}_{92}\text{U}$, ${}^{237}_{93}\text{Np}$; б) ${}^{227}_{89}\text{Ac}$, ${}^{223}_{89}\text{Fr}$, ${}^{227}_{90}\text{Th}$, ${}^{223}_{88}\text{Ra}$. Th испускает α-частицу, Fr испускает β^--частицу. **21.28.** а) 71 г; б) 25 г; в) 26,6 сут. **21.29.** $T = -t\dfrac{\lg 2}{\lg k} = 1{,}71t$. **21.30.** $\Delta N = \dfrac{m}{M}N_\text{A}\left(1 - 2^{-\frac{t}{T}}\right) \approx \dfrac{m}{M}N_\text{A}\dfrac{t}{T}\ln 2 = 1{,}44 \cdot 10^{19}$ атомов. **21.31.** $k_2 = k_1^2 = 9$. **21.32.** $T = t\dfrac{m}{M}\dfrac{N_\text{A}}{N}\ln 2 = 5{,}0$ сут. **21.33.** $N = \dfrac{m}{M}N_\text{A}\left(1 - 2^{-\frac{t}{T}}\right) = 9{,}38 \cdot 10^{18}$ атомов; $q = eN = 1{,}5$ Кл. **21.34.** $m_2 = m_1\dfrac{M_2}{M_1}\left(1 - 2^{-\frac{t}{T}}\right) = 0{,}161$ кг. **21.35.** $m_2 = m_1\dfrac{M_2T_2}{M_1T_1} = 6{,}43 \cdot 10^{-6}$ г. **21.36.** $Q = \dfrac{1}{2}N_\text{A}\dfrac{m}{M}W_\alpha = 1{,}2$ МДж. **21.37.** $T = -t\dfrac{\lg 2}{\lg\left(1 - \dfrac{p_0V}{R\tau_0}\dfrac{M}{m}\right)} = 138$ дней, где M — молярная масса полония.

21.38. $T = \tau\dfrac{\lg 2}{\lg\left(\dfrac{\Delta n_0}{\Delta n}\right)} = 42$ мин. **21.39.** $w = 1 - 2^{-\frac{t}{T}}$; $\lambda = \dfrac{\ln 2}{T}$. а) 700 с^{-1}, ≈ 1; б) $1{,}4 \cdot 10^{-11}$ с^{-1}, $5 \cdot 10^{-8}$; в) $1{,}28 \cdot 10^{-4}$ с^{-1}; 0,37; 2,16 ч. **21.40.** ${}^{14}_{7}\text{N} + {}^{4}_{2}\text{He} \to {}^{17}_{8}\text{O} + {}^{1}_{1}p$. **21.41.** Бериллия, ${}^{9}_{4}\text{Be} + {}^{4}_{2}\text{He} \to {}^{12}_{6}\text{C} + {}^{1}_{0}n$. **21.42.** α-частицы, ${}^{11}_{5}\text{B} + {}^{1}_{1}p \to 3{}^{4}_{2}\text{He}$. **21.43.** а) $2{}^{4}_{2}\text{He}$, ${}^{7}_{3}\text{Li} + {}^{1}_{1}p \to 2{}^{4}_{2}\text{He}$; б) ${}^{8}_{4}\text{Be}$, ${}^{7}_{3}\text{Li} + {}^{1}_{1}p \to {}^{8}_{4}\text{Be} + \gamma$;

в) $^{7}_{4}$Be, $^{7}_{3}Li + ^{1}_{1}p \to ^{7}_{4}Be + ^{1}_{0}n$; г) $^{6}_{3}$Li, $^{7}_{3}Li + ^{1}_{1}p \to ^{6}_{3}Li + ^{2}_{1}H$; д) $^{7}_{3}$Li (рассеяние), $^{7}_{3}Li + ^{1}_{1}p \to ^{7}_{3}Li + ^{1}_{1}p$; е) $^{4}_{2}$He, $^{3}_{1}$H, $^{7}_{3}Li + ^{1}_{1}p \to ^{4}_{2}He + ^{3}_{1}H + ^{1}_{1}p$.
21.44. а) $^{14}_{7}$N; б) $^{242}_{94}$Pu. **21.45.** а) $^{27}_{13}Al + ^{4}_{2}He \to ^{30}_{15}P + ^{1}_{0}n$, $^{30}_{15}P \to ^{30}_{14}Si + ^{0}_{+1}e + \nu$; б) $^{10}_{5}B + ^{4}_{2}He \to ^{13}_{7}N + ^{1}_{0}n$, $^{13}_{7}N \to ^{13}_{6}C + ^{0}_{+1}e + \nu$. **21.46.** $^{26}_{13}$Al; $^{27}_{13}Al + \gamma \to$ $\to ^{26}_{13}Al + ^{1}_{0}n$; $^{26}_{12}$Mg; $^{26}_{13}Al + \gamma \to ^{26}_{12}Mg + ^{1}_{1}p$. **21.47.** а) $^{1}_{0}n$; б) $^{18}_{9}$F; в) $^{38}_{19}$K; г) $^{9}_{4}$Be, $^{12}_{6}$C; д) $^{4}_{2}$He, $^{10}_{5}$B; е) $^{55}_{26}$Fe, $^{1}_{0}n$; ж) $^{239}_{94}$Pu, $^{4}_{2}$He, $^{242}_{96}$Cm. **21.48.** $^{235}_{92}U +$ $+ ^{1}_{0}n \to ^{140}_{55}Cs + ^{94}_{37}Rb + 2^{1}_{0}n$; $^{140}_{55}Cs \to ^{140}_{56}Ba + ^{0}_{-1}e + \tilde{\nu}$; $^{140}_{56}Ba \to ^{140}_{57}La + ^{0}_{-1}e +$ $+ \tilde{\nu}$; $^{140}_{57}La \to ^{140}_{58}Ce + ^{0}_{-1}e + \tilde{\nu}$; $^{94}_{37}Rb \to ^{94}_{38}Sr + ^{0}_{-1}e + \tilde{\nu}$; $^{94}_{38}Sr \to ^{94}_{39}Y + ^{0}_{-1}e + \tilde{\nu}$; $^{94}_{39}Y \to ^{94}_{39}Zr + ^{0}_{-1}e + \tilde{\nu}$. **21.49.** 2 электрона $^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \to ^{239}_{94}Pu + 2^{0}_{-1}e$.
21.50. Уран $^{233}_{92}$U, $^{232}_{90}U + ^{1}_{0}n \to ^{233}_{92}U + 2^{0}_{-1}e$. **21.51.** $N_1 = 17$, $N_2 = 8$.
21.52. $N_1 = 5$, $N_2 = 3$. **21.54.** $\Delta m = 0{,}08181$ а.е.м. $= 1{,}358 \cdot 10^{-28}$ кг.
21.55. $E_{св} = 1{,}492 \cdot 10^{-10}$ Дж $= 931{,}5$ МэВ. **21.56.** $E = 1879$ МэВ. **21.57.** $\frac{m}{\Delta m} =$ $= 13{,}2\%$, где m — масса электронов. **21.58.** $\Delta m = 0{,}009106$ а.е.м.; $E_{св} = 8{,}48$ МэВ; $\eta = 0{,}30\%$. **21.59.** $A = E_{св} = 342{,}1$ МэВ. **21.60.** $E = N_A E_{св\,He} =$ $= 2{,}73 \cdot 10^{12}$ Дж. **21.61.** $N = 1{,}64 \cdot 10^{5}$ атомов; $^{1}_{1}p + ^{1}_{0}n \to ^{2}_{1}H$. **21.62.** а) $\varepsilon =$ $= 5{,}33$ Мэв/н; б) $\varepsilon = 8{,}79$ Мэв/н; в) $\varepsilon = 7{,}57$ Мэв/н. **21.63.** $A = 12{,}41$ МэВ.
21.64. $E = 7{,}16$ МэВ. **21.65.** $A = 7{,}32$ МэВ. **21.66.** $E = 1{,}58$ МэВ. **21.67.** а) $Q =$ $= c^2(M_М - M_Д)$, $^{24}_{11}Na \to ^{24}_{12}Mg + ^{0}_{-1}e + \tilde{\nu}$, $Q = 5{,}516$ МэВ; б) $Q = c^2(M_М - M_Д -$ $- 2m_e)$, $^{11}_{6}C \to ^{11}_{5}B + ^{0}_{1}e + \nu$, $Q = 0{,}958$ МэВ. **21.68.** а) 0,42 МэВ; б) 5,49 МэВ; в) 12,86 МэВ. **21.69.** а) $^{11}_{5}$B, $Q = 8{,}7$ МэВ; б) $^{7}_{3}$Li, $Q = 17{,}35$ МэВ.
21.70. $m = 17{,}008441$ а.е.м. **21.71.** $m_в = \frac{m}{M_{Li}} N_A \frac{(8\varepsilon_{He} - 7\varepsilon_{Li})}{c\Delta t} = 572$ кг.
21.72. $Q = \frac{m}{M_{Li}} N_A$, $\Theta = 9{,}86 \cdot 10^{13}$ Дж; $\eta = 2{,}14 \cdot 10^{6}$. **21.73.** $W = 208$ Мэв.
21.74*. $w_U = 0{,}885$ МэВ/н; $w_{He} = 6{,}17$ МэВ/н. **21.75.** $m = m_0 \frac{Pt}{\eta E} = 26{,}9$ кг.
21.76. $u = c\sqrt{\frac{M}{m} - 2}$. **21.77.** $E_к = \frac{E_\gamma^2}{2m_К c^2} = 1{,}2$ мэВ, где $m_К$ — масса ядра

калия. **21.78.** $\frac{\Delta E_\gamma}{E_в} = \frac{E_в}{2m_{Ir}c^2} = 3,6 \cdot 10^{-7}$. **21.79.** $E_\gamma = |Q| = 16,54$ МэВ. **21.80.** $^{206}_{82}Pb$; $\eta = \frac{m_\alpha}{m_\alpha + m_{Pb}} = 0,019$; $E_{Pb} = \eta Q = 0,103$ МэВ. **21.81.** $^{222}_{86}Rn$ (радон) $\to$ $^{218}_{84}Po + {}^4_2He$, $M_{Rn} = M_{Po} + M_\alpha + \frac{E_\alpha\left(\frac{m_\alpha}{m_{Po}} + 1\right)}{c^2} = 222,01758$ а.е.м. **21.82.** $E_{He} = \frac{Qm_n}{m_{He} + m_n} = 0,65$ МэВ; $E_n = 2,62$ МэВ. **21.83.** $\upsilon_\alpha = \sqrt{\frac{2Qm_{Li}}{m_\alpha(m_{Li} + m_\alpha)}} = 9,25 \cdot 10^3$ м/с; $\upsilon_{Li} = 5,3 \cdot 10^3$ м/с. **21.84.** $E = Q + E_d = 6,7$ МэВ. **21.85.** $E_p = \frac{|Q|}{1 - m_p/m_{Be}} = 1,92$ МэВ. **21.86.** $\eta = \frac{E_p}{E_{2\alpha}} = \frac{m_\alpha}{m_p} \cdot 2\cos^2\frac{\varphi}{2} = 0,061$; $E_p = Q\frac{\eta}{1 + \eta} = 0,994$ МэВ. **21.87.** $E_p \geqslant E_{св}\frac{m_p + m_{2H}}{m_{2H}} = 3,34$ МэВ. **21.88.** $E_{пор} = \left(1 + \frac{m_\alpha}{m_{Al}}\right)|Q| = 3,04$ МэВ, $E_к = 0,39$ МэВ. **21.89.** $E_2 = Q - E_1 = 0,98$ МэВ. **21.90.** $E_к \geqslant \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} = 0,36$ МэВ; $T = \frac{2}{3}\frac{E_к}{k} = 3 \cdot 10^9$ К. **21.91.** Безопасна, т. к. поглощенная доза за год равна 8,4 мГр.

Приложение

1. Формулы тригонометрии

$\sin\alpha = \dfrac{\operatorname{tg}\alpha}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\alpha}}$; $\sin 2\alpha = 2\sin\alpha\cos\alpha$; $\cos 2\alpha = \cos^2\alpha - \sin^2\alpha$;

$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha\cos\beta \pm \sin\beta\cos\alpha$; $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha\cos\beta \mp \sin\alpha\sin\beta$

2. Таблица производных

Функция	Производная	Функция	Производная
x^n	nx^{n-1}	$\sin x$	$\cos x$
$\dfrac{1}{x}$	$-\dfrac{1}{x^2}$	$\cos x$	$-\sin x$
$\dfrac{1}{x^n}$	$-\dfrac{n}{x^{n+1}}$	$\operatorname{tg} x$	$\dfrac{1}{\cos^2 x}$
$\sqrt{x}$	$\dfrac{1}{2\sqrt{x}}$	$\sqrt{u}$	$\dfrac{u'}{2\sqrt{u}}$
e^x	e^x	$u \cdot v$	$u'v + uv'$
$\ln x$	$\dfrac{1}{x}$	$\dfrac{u}{v}$	$\dfrac{vu' - uv'}{v^2}$

3. Формулы приближенного вычисления

а) Если а << 1, то в первом приближении:

$\dfrac{1}{1\pm a} = 1 \mp a$; $(1\pm a)^2 = 1 \pm 2a$; $\sqrt{1\pm a} = 1 \pm \dfrac{a}{2}$;

$\dfrac{1}{\sqrt{1\pm a}} = 1 \mp \dfrac{a}{2}$; $2^{\pm a} = 1 \pm a\cdot\ln 2$;

б) если угол мал ($\alpha < 5°$ или $\alpha < 0{,}1$ рад) и выражен в радианах, то в первом приближении: $\sin\alpha = \operatorname{tg}\alpha = \alpha$; $\cos\alpha = 1$.

Приложение

4. Астрономические величины

Космическое тело	Средний радиус, м	Масса, кг
Солнце	$6,95 \cdot 10^6$	$1,99 \cdot 10^{30}$
Земля	$6,37 \cdot 10^6$	$5,98 \cdot 10^{24}$
Луна	$1,74 \cdot 10^6$	$7,35 \cdot 10^{22}$

Расстояние от центра Земли до Солнца $1,49 \cdot 10^{11}$ м.
Расстояние от центра Земли до Луны $3,84 \cdot 10^8$ м.
Период обращения Луны вокруг Земли 27,3 суток.

5. Плотность веществ

Твердые тела			
	10^3 кг/м^3		10^3 кг/м^3
Алюминий	2,7	Олово	7,3
Золото	19,3	Свинец	11,3
Латунь	8,5	Серебро	10,5
Лед	0,9	Сталь (железо)	7,8
Медь	8,9	Цинк	7,1
Никель	8,9	Стекло	2,4
Пробка	0,2		

Жидкости			
	10^3 кг/м^3		10^3 кг/м^3
Бензол	0,88	Нефть	0,90
Бензин	0,70	Ртуть	13,6
Вода	1,0	Спирт	0,79
Керосин	0,80	Соленая вода	1,03
Касторовое масло	0,9		

Газы			
	10^3 кг/м^3		10^3 кг/м^3
Воздух	1,29	Углекислый газ	1,98

6. Тепловые свойства веществ

Твердые тела

Вещество	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)	Температура плавления, °C	Удельная теплота плавления, кДж/кг
Алюминий	0,9	660	321
Латунь	0,39	900	330
Лед	2,09	0	333
Медь	0,39	1083	175
Никель	0,46	1453	300
Олово	0,28	232	59
Свинец	0,13	327	25
Серебро	0,23	960	88
Сталь (железо)	0,46	1400	82

Жидкости

Вещество	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)	Температура кипения, °C	Удельная теплота парообразования[1], МДж/кг
Вода	4,18	100	2,25
Глицерин	2,42	290	
Ртуть	0,14	357	0,284
Спирт	2,42	78	0,853

Газы

Вещество	Удельная теплоемкость[2], кДж/(кг·К)	Температура конденсации[1], °C
Азот	1,05	−196
Водород	14,3	−253
Воздух	1,01	—
Гелий	5,29	−269
Кислород	0,913	−183

[1] При нормальном давлении.

[2] При постоянном давлении.

7. Коэффициент поверхностного натяжения жидкостей, мН/м (при 20 °C)

Вода	73	Молоко	46
Глицерин	66	Ртуть	490
Мыльный раствор	40	Спирт	22

8. Удельная теплота сгорания топлива, МДж/кг

Авиационный бензин	48	Нефть	46
Бензин	46	Порох	3,8
Дерево	10	Природный газ	34
Каменный уголь	30	Спирт	29
Керосин	46	Торф	14
Метан	55		

9. Зависимость давления *p* и плотности ρ насыщенного водяного пара от температуры

t, °C	p, кПа	ρ, г/м^3	t, °C	p, кПа	ρ, г/м^3
−5	0,40	3,2	14	1,60	12,1
0	0,61	4,8	15	1,71	12,8
1	0,65	5,2	16	1,81	13,6
2	0,71	5,6	17	1,94	14,5
3	0,76	6,0	18	2,07	15,4
4	0,81	6,4	19	2,20	16,3
5	0,88	6,8	20	2,33	17,3
6	0,93	7,3	21	2,49	18,3
7	1,0	7,8	25	3,17	23,0
8	1,06	8,3	50	12,3	83,0
9	1,14	8,8	60	19,9	129,4
10	1,23	9,4	70	31,0	195,7
11	1,33	10,0	80	47,3	290,2
12	1,40	10,7	90	70,0	417,6
13	1,49	11,4	100	101,3	588,3

10. Коэффициенты теплового расширения (при комнатной температуре)

Твердое тело	К-т линейного расширения α, 10^{-6} К$^{-1}$	Жидкости	К-т объемного расширения β, 10^{-4} К$^{-1}$
Алюминий	22,9	Вода	2,1
Бронза	20,0	Глицерин	5,0
Латунь	18,9	Керосин	10,0
Медь	16,7	Нефть	10,0
Платина	8,5	Ртуть	1,8
Сталь (железо)	11	Спирт этиловый	11,0
Стекло обычное	8,5		

11. Предел прочности на растяжение $\sigma_{пч}$ и модуль упругости *E*

Вещество	$\sigma_{пч}$, МПА	*E*, ГПА
Алюминий	100	70
Латунь	50	100
Свинец	15	17
Серебро	140	80
Сталь	500	210

12. Диэлектрические проницаемости веществ

Воздух	1,00058	Слюда	6
Вода	81	Стекло	7
Керосин	2	Текстолит	7
Масло	2,2	Фарфор	5
Парафин	2	Эбонит	3
Парафинированная бумага	27		

13. Удельное сопротивление ρ (при 20 °С) и температурный коэффициент сопротивления α металлов и сплавов

Вещество	ρ, $\times 10^{-8}$ Ом · м или $\times 10^{-2}$ Ом · мм^2/м	α, К$^{-1}$	Вещество	ρ, $\times 10^{-8}$ Ом · м или $\times 10^{-2}$ Ом · мм^2/м	α, К$^{-1}$
Алюминий	2,8	0,0045	Никелин	42	0,0001
Вольфрам	5,0	0,0048	Нихром	110	0,0001
Железо	9,8	0,0065	Свинец	19	0,0042
Золото	2	0,004	Серебро	1,5	0,004
Латунь	7,1	0,001	Сталь	12	0,006
Медь	1,7	0,0043			

14. Электрохимические эквиваленты, мг/Кл (10^{-6} кг/Кл)

Алюминий (Al^{3+})	0,093	Олово (Sn^{2+})	0,62
Водород (H^{+})	0,0104	Натрий (Na^{+})	0,238
Железо (Fe^{3+})	0,193	Никель (Ni^{2+})	0,329
Золото (Au^{+})	2,04	Серебро (Ag^{+})	1,12
Кальций (Ca^{2+})	0,208	Хром (Cr^{3+})	0,18
Кислород (O^{2-})	0,083	Цинк (Zn^{2+})	0,339
Медь (Cu^{2+})	0,329		

15. Показатели преломления

Газы	Показатель преломления n	Жидкости	Показатель преломления n	Твердые тела	Показатель преломления n
Азот	1,00030	Вода	1,33	Алмаз	2,42
Воздух	1,00029	Масло	1,5	Кварц	1,54
Сероуглерод	1,630	Масло коричное	1,60	Стекло (обычное)	1,50
		Скипидар	1,47	Флинтглас	1,8

Примечание. Показатели преломления зависят от длины волны света и от разновидностей вещества, например у стекла. Поэтому приведенные значения n следует рассматривать условно, используя их только в том случае, если они не указаны в условии задачи.

16. Работа выхода электрона из металлов

Металл	Работа выхода A, эВ	Работа выхода A, 10^{-19} Дж	Металл	Работа выхода A, эВ	Работа выхода A, 10^{-19} Дж
Алюминий	3,74	5,98	Никель	4,84	7,74
Вольфрам	4,5	7,2	Платина	5,29	8,46
Калий	2,15	3,44	Серебро	4,28	6,85
Литий	2,39	3,82	Цезий	1,89	3,02
Медь	4,47	7,15	Цинк	3,74	5,98
Натрий	2,27	3,63	Оксид бария	0,99	1,58

17. Периоды полураспада радиоизотопов

Натрий	^{24}Na	14,8 ч
Полоний	^{210}Po	138,4 сут
Радий	^{219}Ra ^{226}Ra ^{230}Ra	10^{-3} с 1600 лет 1,5 ч
Радон	^{222}Rn	3,82 сут
Торий	^{232}Th	$1,4 \cdot 10^{10}$ лет
Углерод	^{14}C	5730 лет
Уран	^{235}U	$1,7 \cdot 10^{8}$ лет

18. Массы нейтральных атомов

Название элемента	Атомный номер Z	Символ и массовое число атома A_X	Масса атома, а. е. м.
(Нейтрон)	0	n	1,008665
Водород	1	^{1}H ^{2}H ^{3}H	1,007825 2,014102 3,016049
Гелий	2	^{3}He ^{4}He	3,016029 4,002603

Приложение

Продолжение

Название элемента	Атомный номер Z	Символ и массовое число атома A_X	Масса атома, а. е. м.
Литий	3	^{6}Li ^{7}Li	6,015123 7,016004
Бериллий	4	^{7}Be ^{8}Be ^{9}Be	7,016931 8,005308 9,012182
Бор	5	^{10}B ^{11}B	10,012938 11,009305
Углерод	6	^{11}C ^{12}C ^{13}C ^{14}C	11,011431 12,000000 13,003355 14,003242
Азот	7	^{13}N ^{14}N ^{15}N	13,005739 14,003074 15,000109
Кислород	8	^{15}O ^{16}O ^{17}O	15,003072 15,994915 16,999131
Фтор	9	^{19}F	18,998403
Натрий	11	^{23}Na ^{24}Na	22,989770 23,990967
Магний	12	^{23}Mg ^{24}Mg	22,994135 23,985045
Алюминий	13	^{27}Al	26,981541
Кремний	14	^{31}Si	30,975349
Фосфор	15	^{30}P ^{31}P	29,978320 30,973763
Калий	19	^{40}K ^{41}K	39,962382 40,961825

Окончание

Название элемента	Атомный номер Z	Символ и массовое число атома A_X	Масса атома, а. е. м.
Кальций	20	^{40}Ca	39,962591
Железо	26	^{56}Fe	55,934939
Цирконий	40	^{94}Zr	93,906320
Церий	58	^{140}Ce	139,90544
Свинец	82	^{206}Pb	205,97445
Полоний	84	^{210}Po	209,98286
Уран	92	^{235}U ^{238}U	235,04393 238,05079

19. Названия некоторых частиц

Символ	Название
$p \equiv {}^1_1H$	протон — ядро водорода
n	нейтрон
$d \equiv D \equiv {}^1_2H$	дейтрон — дейтерий — ядро тяжелого водорода
$t \equiv T \equiv {}^1_3H$	тритий — ядро сверхтяжелого водорода
$\alpha \equiv {}^4_2He$	α-частица — ядро гелия

20. Десятичные приставки к названиям единиц

Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель
тера-	Т	10^{12}	деци-	д	10^{-1}
гига-	Г	10^{9}	санти-	с	10^{-2}
мега-	М	10^{6}	милли-	м	10^{-3}
кило-	к	10^{3}	микро-	мк	10^{-6}
гекто-	г	10^{2}	нано-	н	10^{-9}
деко-	да	10	пико-	п	10^{-12}

Приложение

21. Некоторые внесистемные единицы

1 эВ = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж

1 Å = 10^{-10} м

1 а. е. м. = $\begin{cases} 1{,}66 \cdot 10^{-19} \text{ кг} \\ 931{,}5 \text{ МэВ} \end{cases}$

22. Основные физические константы

Скорость света в вакууме	$c = 2{,}998 \cdot 10^{8}$ м/с
Гравитационная постоянная	$G = 6{,}672 \cdot 10^{-11}$ м^3/(кг·с^2)
Стандартное ускорение свободного падения	$g = 9{,}807$ м/с^2
Постоянная Авогадро	$N_A = 6{,}022 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$
Постоянная Больцмана	$k = 1{,}3807 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Универсальная постоянная	$R = 8{,}314$ Дж/(моль · К)
Постоянная Фарадея	$F = 9{,}65 \cdot 10^{4}$ Кл/моль
Элементарный заряд	$e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса электрона	$m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг = 0,511 МэВ
Масса протона	$m_p = 1{,}672 \cdot 10^{-27}$ кг
Постоянная Планка	$h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Дж · с $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1{,}0546 \cdot 10^{-34}$ Дж · с
Постоянная Ридберга	$R = 1{,}097 \cdot 10^{7}$ м$^{-1}$
Первый боровский радиус	$r_1 = 0{,}529 \cdot 10^{-10}$ м
Энергия связи электрона в атоме водорода	$E = 13{,}56$ эВ
Электрическая постоянная	$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^{9}$ м/Ф
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м = $1{,}257 \cdot 10^{-6}$ Гн/м

23. Периодическая таблица химических элементов Д. И. Менделеева

Период	Ряд	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
I	1	(H)						H 1 1,00797 Водород	He 2 4,0026 Гелий	Обозначение элемента	Атомный номер
II	2	Li 3 6,939 Литий	Be 4 9,0122 Бериллий	B 5 10,811 Бор	C 6 12,01115 Углерод	N 7 14,0067 Азот	O 8 15,9994 Кислород	F 9 18,9984 Фтор	Ne 10 20,179 Неон	Li 3 6,939 Литий	
III	3	Na 11 22,9898 Натрий	Mg 12 24,305 Магний	Al 13 26,9815 Алюминий	Si 14 28,086 Кремний	P 15 30,9738 Фосфор	S 16 32,064 Сера	Cl 17 35,453 Хлор	Ar 18 39,948 Аргон		Относительная атомная масса
IV	4	K 19 39,102 Калий	Ca 20 40,08 Кальций	21 44,956 Sc Скандий	22 47,90 Ti Титан	23 50,942 V Ванадий	24 51,996 Cr Хром	25 54,9380 Mn Марганец	26 55,847 Fe Железо	27 58,9330 Co Кобальт	28 58,71 Ni Никель
	5	29 63,546 Cu Медь	30 65,37 Zn Цинк	Ga 31 69,72 Галлий	Ge 32 72,59 Германий	As 33 74,9216 Мышьяк	Se 34 78,96 Селен	Br 35 79,904 Бром	Kr 36 83,80 Криптон		
V	6	Rb 37 85,47 Рубидий	Sr 38 87,62 Стронций	39 88,905 Y Иттрий	40 91,22 Zr Цирконий	41 92,906 Nb Ниобий	42 95,94 Mo Молибден	43 [99] Tc Технеций	44 101,07 Ru Рутений	45 102,905 Rh Родий	46 106,4 Pd Палладий
	7	47 107,868 Ag Серебро	48 112,40 Cd Кадмий	In 49 114,82 Индий	Sn 50 118,69 Олово	Sb 51 121,75 Сурьма	Te 52 127,60 Теллур	I 53 126,9044 Иод	Xe 54 131,30 Ксенон		
VI	8	Cs 55 132,905 Цезий	Ba 56 137,34 Барий	57 138,91 La* Лантан	72 178,49 Hf Гафний	73 180,948 Ta Тантал	74 183,85 W Вольфрам	75 186,2 Re Рений	76 190,2 Os Осмий	77 192,2 Ir Иридий	78 195,09 Pt Платина
	9	79 196,967 Au Золото	80 200,59 Hg Ртуть	Tl 81 204,37 Таллий	Pb 82 207,19 Свинец	Bi 83 208,980 Висмут	Po 84 [210]* Полоний	At 85 [210] Астат	Rn 86 [222] Радон		
VII	10	Fr 87 [223] Франций	Ra 88 [226] Радий	89 [227] Ac** Актиний	104 [261] Rf Резерфордий	105 [262] Db Дубний	106 [263] Sg Сиборгий	107 [262] Bh Борий	108 [265] Hs Хассий	109 [266] Mt Мейтнерий	110

Лантаноиды*	58 140,12 Ce Церий	59 140,907 Pr Празеодим	60 144,24 Nd Неодим	61 [147]* Pm Прометий	62 150,35 Sm Самарий	63 151,96 Eu Европий	64 157,25 Gd Гадолиний	65 158,924 Tb Тербий	66 162,50 Dy Диспрозий	67 164,930 Ho Гольмий	68 167,26 Er Эрбий	69 168,934 Tm Тулий	70 173,04 Yb Иттербий	71 174,97 Lu Лютеций
Актиноиды**	90 232,038 Th Торий	91 [231] Pa Протактиний	92 238,03 U Уран	93 [237] Np Нептуний	94 [244] Pu Плутоний	95 [243] Am Америций	96 [247] Cm Кюрий	97 [247] Bk Берклий	98 [252]* Cf Калифорний	99 [254] Es Эйнштейний	100 [257] Fm Фермий	101 [257] Md Менделевий	102 [255] No Нобелий	103 [256] Lr Лоуренсий

Содержание

Содержание

Учебное издание

Авторы-составители:
Турчина Нина Васильевна, Рудакова Людмила Ивановна, Суров Олег Иванович, Спирин Геннадий Георгиевич, Ющенко Татьяна Александровна

ФИЗИКА

3800 задач для школьников и поступающих в вузы

Ответственный редактор *Е. Н. Тихонова*
Редактор *И. Г. Власова*
Оформление *Л. Д. Андреев*
Художественный редактор *Л. Д. Андреев*
Компьютерная графика *Д. А. Дачевский, О. И. Колотова, С. Л. Мамедова, О. А. Молочков*
Оригинал-макет подготовила *О. И. Колотова*
Технический редактор *В. Ф. Козлова*
Корректоры *Г. И. Мосякина, Е. Е. Никулина*

Изд. лиц. № 061622 от 07.10.97.
Подписано в печать 25.08.99. Формат $70 \times 100^1/_{16}$.
Бумага типографская. Гарнитура «Школьная». Печать офсетная.
Усл. печ. л. 35,28. Тираж 50 000 экз. Заказ № 1695.

Издательский дом «Дрофа». 127018, Москва, Сущевский вал, 49.

По вопросам приобретения продукции Издательского дома «Дрофа» обращаться по адресу: 127018, Москва, Сущевский вал, 49.
Тел.: (095) 795-05-50, 795-05-51. Факс: (095) 795-05-52.

Отпечатано в полном соответствии
с качеством предоставленных диапозитивов
в ОАО «Можайский полиграфический комбинат».
143200, г. Можайск, ул. Мира, 93.